

01146 6
2ej.

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
Facultad de Ingeniería

COMPORTAMIENTO Y COSTOS DE EDIFICIOS SOPORTADOS
SOBRE AISLADORES SISMICOS

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

T E S I S

PRESENTADA A LA DIVISION DE ESTUDIOS DE
POSGRADO DE LA

FACULTAD DE INGENIERIA
DE LA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

COMO REQUISITO PARA OBTENER
EL GRADO DE

MAESTRO EN INGENIERIA
(C O N S T R U C C I O N)

PRESENTA:
ARMANDO SOSA GARCIA

CIUDAD UNIVERSITARIA
Septiembre 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.

I N D I C E

COMPORTAMIENTO Y COSTO DE EDIFICIOS SOPORTADOS

SOBRE AISLADORES SISMICOS

	<i>Pág</i>
RESUMEN	(1)
CAP. I Introducción	(2)
CAP. II Dispositivos reductores de la respuesta sísmica	(6)
2.1 Dispositivos de Control Pasivo	(7)
2.2 Dispositivos de Control Activo	(12)
2.3 Aisladores sísmicos	(13)
2.3.1 Lugares factibles para la implementación de Aisladores	(15)
2.3.2 Características deseables de sistemas aisladores	(17)
CAP. III Edificio existente con aislamiento	(18)
3.1 Introducción	(18)
3.2 Descripción del edificio con aislamiento	(20)
3.3 Comparación entre resultados de vibración ambiental y teóricos	(23)
3.4 Características del disipador propuesto para el sistema	(24)
CAP. IV Selección de movimiento sísmico	(26)
4.1 Acelerogramas y espectros de Viveros, D. F. y Acapulco, Gro.	(27)
4.2 Período de recurrencia de los sismos	(29)
CAP. V Modelos estructurales uni y bidimensionales	(34)
5.1 Fuerzas sísmicas en edificios de cortante	(35)

5.2	Criterios y diseño de marcos con y sin aisladores	(40)
5.3	Análisis sísmico inelástico de marcos con y sin aisladores	(43)
5.4	Influencia del efecto P-A en el aislador	(53)
CAP. VI	Análisis de resultados, respuesta estructural y costos	(60)
6.1	Desplazamiento máximos en modelo de cortante y en el marco con vigas flexibles	(60)
6.2	Reducción de cortante en el modelo de cortante y en el marco con vigas flexibles	(63)
6.3	Análisis de costos de los edificios con y sin aisladores	(66)
CAP. VII	Conclusiones	(70)
CAP. VIII	Reconocimientos	(72)
	Referencias	(73)
	Figuras	(76)
	Apéndice A	(113)
	Apéndice B	(121)

RESUMEN

En este trabajo se presenta una introducción del origen de los sistemas de aislamiento. Una actual clasificación y comportamiento de los dispositivos reductores de la respuesta sísmica. Los lugares factibles para la implementación de sistemas aisladores en la República Mexicana y las características deseables de los mismos.

Se estudia la factibilidad de construir edificios bajos con aislamiento sísmico ubicados en dos sitios con propiedades dinámicas del suelo diferentes: uno con periodos de vibración dominantes intermedios, y otro con periodos dominantes cortos. Los edificios que se analizan son de cinco niveles con características dinámicas y de estructuración similares a las de una escuela construida sobre aisladores sísmicos en la Ciudad de México. Se realizan pruebas de vibración ambiental en dicha construcción. Los edificios que se analizan se representan mediante modelos "de cortante" y "de marcos planos". En estos últimos se subraya la influencia de los efectos P- Δ en el desplazamiento relativo entre la base de la superestructura y del aislador.

Los resultados indican que, cuando en la estructura se incluye dichos sistemas de aislamiento, las fuerzas cortantes debidas a la excitación sísmica se reducen aproximadamente a la mitad, y los costos se incrementan alrededor de un 6 % con respecto a los correspondientes a un diseño convencional, por lo que el sistema propuesto resulta promisorio.

1.- INTRODUCCION

El aislamiento sísmico para estructuras es un diseño estratégico basado en la premisa de desacoplar a la estructura del suelo, es decir, desconectar a la superestructura de su cimentación y mediante tal sistema reducir las fuerzas sísmicas en la superestructura. Además de conseguir este resultado se requiere la satisfacción de todos los demás requerimientos de servicio y funcionalidad. Podemos definir al aislamiento como la adición de flexibilidad así como de amortiguamiento a través de diversos dispositivos usualmente introducidos entre la superestructura y la cimentación.

La idea de sistemas estructurales con aislamiento sísmico no es reciente ya que desde el inicio de este siglo surge una idea por *Jacob Bechtold de Munich, Alemania*, quien en 1906 patenta en Estados Unidos de Norte América [ref.13] un sistema que trata de minimizar la vibración causada por tráfico y movimiento sísmico, que consistió en una placa de base rígida para soportar el edificio y una masa de cuerpos esféricos de material duro para cargar dicha placa del edificio (Fig. 1.a).

Una notable excepción, es la construcción de *Frank Lloyd* del Hotel Imperial en Tokyo. Completado en 1921, esta estructura fue proyectada

para flotar en una base o capa de lodo. El edificio sobrevivió al sismo de Tokyo en 1923 como si estuviese acojinado, y más tarde el constructor escribió su autografía en donde se revela la construcción de dicha estructura [ref.14]. Existe hasta nuestros días una controversia de la no divulgación del sistema anterior, ya que el hotel Imperial es irrefutablemente uno de los primeros trabajos de aisladores de base, que nos muestra como la protección sísmica puede conseguirse por medios relativamente simples.

En 1929 Robert Wladislas de Montalk de Welligtón Nueva Zelanda [ref. 15], también patenta en los Estados Unidos de Norte América un sistema aislante en forma de "cama" con el fin de absorber y minimizar los impactos, Fig. 1 (b).

Green en 1935 [ref.16] introdujo la idea de diseñar edificios sismoresistentes utilizando un principio similar que es el de "piso bajo flexible" . En dichos estudios se hace la hipótesis que las columnas del primer piso se comportan elásticamente pero con absorción de energía. Pero para que las columnas del primer piso absorban suficiente energía por histéresis los desplazamientos laterales del primer nivel deben ser grandes por lo que la estructura puede volverse inestable.

Actualmente algunas de las ideas básicas para reducir la respuesta sísmica son:

- 1.- Aumentar el amortiguamiento (con lo cual se tiene una disipación de energía en la estructura [ref. 18]).
- 2.- Modificar el período natural de la estructura, tomando como base el contenido de frecuencias de la excitación del lugar de estudio.

Con el fin de aumentar el amortiguamiento se ha sugerido la inclusión de dispositivos mecánicos cuyo comportamiento dinámico es de tipo histerético [refs 19, 20, 21 y 22].

La idea de modificar el período natural de vibración con el fin de

reducir la respuesta sísmica está directamente relacionada con el contenido de frecuencias de la excitación sísmica del lugar en estudio, teniendo por objeto que a la estructura le corresponda un período tal que la ordenada espectral sea siempre menor, para un amortiguamiento dado, comparada con la que le correspondería si no se hubiese modificado su período. Este concepto puede ser empleado de dos formas:

1.- Disminuir el período de vibración.

2.- Incrementar el período de vibración.

La disminución del período de vibración de una estructura es por medio del incremento de rigidez a través de la incorporación de muros de rigidez, contravientos u otros dispositivos que además de incrementar la rigidez pueden ser disipadores de energía. Esta opción de reducir el período de la estructura mediante la incorporación de diversos elementos puede ser empleada cuando el período sin modificación lo ubicamos en la rama ascendente que define la aceleración espectral máxima que caracteriza el lugar en cuestión, es decir, cuando la frecuencia dominante del sismo es menor o igual a la frecuencia natural de la estructura, de tal manera que al reducirse su frecuencia le corresponde una ordenada espectral menor.

El incremento del período de las estructuras se logra de una manera muy eficiente colocando un sistema llamado *aislador sísmico* que desacopla a la estructura del suelo, este se coloca entre la cimentación y la superestructura logrando un período lo suficientemente largo de manera que se disminuye la excitación sísmica en la superestructura al corresponderle una aceleración espectral menor al sistema. Este sistema además de alargar el período por la flexibilidad que lo caracteriza debe contar entre otras cosas con la capacidad de disipación de energía del conjunto estructural.

Esta opción de aislamiento sísmico puede ser empleada cuando el período de la estructura sin modificar se encuentre en la rama

descendente que define la aceleración espectral máxima del lugar en interés, es decir, cuando la frecuencia dominante del sismo es igual o mayor a la frecuencia natural de la estructura de manera que la ordenada espectral que le corresponda al sistema cuyo período ha sido alargado es mucho menor.

Los sistemas de aislamiento además de estar provistos de elementos de aislamiento deben contar con dispositivos absorbedores de energía. Existe la tendencia en los últimos años a que el sistema de aislamiento contenga inherente la propiedad de disipación de energía. Algunos de los dispositivos que se utilizan como aisladores se encuentran los de tipo rodante que consisten a base de balines o esferas, rodillos bidireccionales, elementos constituidos a base de caucho, estos mismos elementos pueden ser reforzados con placas intercaladas de acero, otro sistema por medio de una cama de aire, resortes, placas deslizantes que contegan teflón, entre otros.

Los dispositivos de disipación de energía que se están utilizando son materiales sujetos a cargas en el intervalo inelástico durante la excitación sísmica que al presentar deformación disipan energía, además deben tener bien definido un comportamiento histerético ante cargas repetidas, que generalmente es de tipo bilineal, este comportamiento determina la eficiencia de disipación de energía, dentro de estos dispositivos se encuentran: barras de acero templado sujetas a torsión, barras o placas sujetas a flexión de acero o celosía en forma de U o espirales, barras de plomo sujetas a tensión, materiales de tipo viscoelástico, etc.

En México se construyó en 1974 uno de los primeros edificios con sistema de aislamiento en el mundo. Este es a base de balines y cables para restringir los desplazamientos, por el Ing. González Flores. En el presente estudio el modelo del Ing. González es modificado en cuanto a sistema de disipación de energía. El sistema de disipación que se propone es de origen mexicano.

II.- DISPOSITIVOS REDUCTORES DE LA RESPUESTA SISMICA

Existen actualmente dispositivos que pueden incorporarse a los sistemas estructurales, que cambian cuantitativamente el comportamiento de las edificaciones ante sismos de magnitud considerable.

Estos dispositivos pueden agruparse en dos:

- Sistemas de control pasivo
- Sistemas de control activo

Los sistemas de control pasivo se caracterizan porque no cuentan con mecanismos que controlen su operación durante la excitación sísmica, mientras que los sistemas activos cuentan con sistemas de control altamente sensibles ante la presencia de algún sismo, que ponen en operación y además controlan su funcionamiento durante eventos sísmicos intensos.

2.1.- DISPOSITIVO DE CONTROL PASIVO

Dentro de esta clasificación tenemos los siguientes:

- Osciladores de Masa Resonantes.
- Disipadores de Energía.
- Aisladores Sísmicos.

Osciladores de Masa Resonantes:

Este dispositivo se ha utilizado en las cimentaciones de las maquinarias para reducir las vibraciones, dicho sistema consta de una pequeña masa de baja rigidez de tal manera que el período de vibración del sistema sea cercano a la estructura donde se va a colocar, ver fig 2.1.

Estos dispositivos alargan el período de la estructura disminuyendo la respuesta en determinadas frecuencias (refs 1 y 2) por ejemplo en las excitaciones de banda angosta que se presentan en el valle de México (ref 3). El incremento del período se debe al aumento de los grados de libertad en la estructura la cual se comporta con grandes desplazamientos en el último nivel donde se encuentran estos dispositivos, de tal forma que producen una disminución de la respuesta en el resto de la estructura.

Estos dispositivos también pueden instalarse en varios niveles de la estructura para reducir la respuesta. Allen J. Clark (ref 5) obtiene la reducción mediante la implementación en varios niveles de estos dispositivos.

DISIPADORES DE ENERGIA

Cuando una estructura está sujeta a excitación sísmica la energía que le es administrada se disipa en parte por el amortiguamiento propio de la estructura y en parte por las articulaciones o deformaciones inelásticas de elementos estructurales o no estructurales. T. F. Zaharah [ref 4] hace un estudio sobre la disipación de energía por deformación inelástica y amortiguamiento. Para aumentar la capacidad de disipación de las estructuras sin llegar a recurrir a la deformación inelástica de la misma, se incorporan dispositivos disipadores de energía en diferentes partes de la superestructura.

Actualmente no existe un criterio de colocación de dichos dispositivos que involucre un funcionamiento óptimo.

Una clasificación de éstos es por la forma de disipación de energía, de tal manera que se pueden clasificar de la manera siguiente:

- Deformación Plástica de Metales
 - Flexión
 - Compresión
 - Tensión
 - Rolado
 - Torsión
- Por fricción
- Por estrucción
- Materiales viscoelásticos

Los disipadores por deformación plástica de metales funcionan cuando el metal o aleación sobrepasa los esfuerzos de fluencia. Estos absorben energía por un cambio en la microestructura del metal y por

un aumento en la temperatura del mismo.

Deformación Plástica por flexión:

Es la disipación de energía de dispositivos en los que se logra por medio de la fluencia del acero a través de deformación a la flexión de elemento viga o placa.

En la figura 2.2(a) se muestra una placa a flexión en una dirección, en la figura 2.2(b) muestra una viga en doble cantiliver que se deforma en una sola dirección y en la figura 2.2(c) se ilustra una viga en simple cantiliver que disipa energía en cualquier dirección [ref 6].

Deformación Plástica por Compresión:

Por este medio de compresión primaria de elementos tubulares en una dirección utilizados como parachoques, es decir, para restringir desplazamientos en las estructuras.

Deformación por Tensión:

También se basa en la plastificación por tensión en el cual se utilizan barras donde la geometría y velocidad de carga son muy importantes para la capacidad de disipación.

Deformación por Rolado:

Es la absorción de energía de elementos que tiene una forma de U, J o espirales como se muestran en la fig 2.4.

Los dispositivos mostrados en las fig 2.4 (a y b) fueron estudiados por Aguirre M (1970) [ref 8] y Kelly, J M (1972) [ref 7] disipan energía al desplazarse una cara con respecto a la otra del dispositivo como el movimientos de las orugas de tractor a tal deformación se le conoce como rolado por flexión.

El dispositivo mostrado en la fig 2.4(c) fue estudiado por Takeyama en 1988 [ref 1].

En México se tiene experiencia de estos dispositivos ya que a mediados de la década de los años 70 (1974) se inició una investigación para desarrollar dispositivos como mecanismos de control de carga en pilotes que tuvieran una capacidad para absorber grandes deformaciones, como una alternativa al uso de pilotes de control [ref 8].

A causa de los sismos de 1985 se despertó nuevamente el interés sobre el uso de estos dispositivos no solo como controlador de hundimientos, sino como disipadores de energía en la superestructura y también entre la cimentación y la superestructura.

Estos dispositivos hechos de solera de fierro comercial en forma de J ó U tienen un comportamiento histerético muy estable sin degradación de rigidez y resistencia y el número de ciclos de carga depende de la amplitud de la deformación y la geometría del dispositivo [refs 9, 10 y 11].

En la fig 2.5 se muestran las dimensiones de un dispositivo de forma U y en forma de óvalo. En la fig 2.6(a), se muestra el prototipo montado para su ensayo, en la fig 2.6(b) el ciclo histéresis obtenido experimentalmente a 15 mm de amplitud, en la fig 2.6(c) el ciclo histerético pero con una amplitud de 15 mm, en el cual se puede observar que no hay ningún deterioro de su comportamiento en cuanto a las ramas de histéresis. En la fig 2.6(c) se muestra el modelo bilineal del comportamiento obtenido experimentalmente.

La disipación por fricción está basada en la absorción de energía que existe entre dos superficies de contacto dependiendo del coeficiente de fricción que existe entre ambas superficies y de la carga presente.

Resulta difícil de predecir y controlar, ya que el coeficiente de fricción depende de la temperatura, humedad tipo de superficie de contacto y de la velocidad relativa entre superficies.

La disipación por estrusión es por medio de la deformación del material al pasar por la sección transversal menor que la del dispositivo y por medio del rebote elástico regresa a su estado original como es el caso del plomo [ref 23].

Las propiedades del material viscoelástico también son utilizables para la absorción de energía sísmica [ref 23].

2.2 DISPOSITIVOS DE CONTROL ACTIVO

Los dispositivos de control activo cuentan con mecanismos de control altamente sensibles que ante la presencia sísmica activan dichos dispositivos que generalmente están controlados por una computadora que es la que acciona su funcionamiento y no solo eso, sino también, controla la respuesta de la estructura durante un sismo cambiando las propiedades del dispositivo en cada intervalo de tiempo si es necesario, de tal manera que, anula los efectos del sismo en la estructura.

Dentro de estos dispositivos de control activo se cuenta con:

- Masa Resonantes .
- Tensores .
- Dispositivos de fricción .
- Aisladores de control .

También se están desarrollando sistemas activos combinados como el de la [ref 24] que consiste en una estructura que es provista de una masa resonante en la parte superior y algunos tensores de control.

La principal característica de estos dispositivos de control es que calculan la ecuación diferencial de movimiento durante la excitación sísmica para determinar las fuerzas que contrarresten las inducidas por los sismos para lo cual, el sistema cambia si es necesario las características y propiedades de los dispositivos logrando una reducción en la respuesta de la estructura.

2.3 AISLADORES SISMICOS

El concepto de aislador sísmico tiene aproximadamente 100 años sin embargo, en los últimos años es cuando se ha alcanzado su implementación en algunas estructuras en diferentes partes del mundo, dando lugar a una alternativa en el diseño Sismo-Resistente de estructuras. Estos sistemas tienen como finalidad desacoplar a la estructura, es decir, separar la superestructura de su cimentación con diversos dispositivos que logran una disminución de las fuerzas sísmicas en la superestructura, por lo que los aisladores sísmicos se ubican entre la cimentación y la superestructura, ver fig. 2.3.1.

En la actualidad existen diversos tipos de aisladores que podemos clasificar entre otros en:

- *Rodante o semirodantes*
- *Caucho*
- *Deslizante o Fricción*
- *Suspensión de Cables*

Estos dispositivos de aislamiento se combinan con elementos disipadores de energía o elementos que restrinjan los desplazamientos durante un sismo intenso.

Los aisladores rodantes generalmente están formados de rodillos o esferas (ver fig. 2.3.2), el nivel de fuerza cortante que transmite por efectos del sismo es tan bajo como se requiera y queda sujeto a la rigidez adicional que debe contener el sistema para resistir el empuje de viento así como sismos de pequeña magnitud. Es deseable que estos dispositivos también funcionen como elementos disipadores de energía. Los aisladores de caucho o hule fueron iniciados en Nueva Zelanda,

están formados de placas de acero intercaladas con hule tratado, además, provistas de una barra de plomo en el centro del dispositivo, las placas de acero así como la barra de plomo son de sección circular o cuadrada. Al llegar al cortante de fluencia el corazón de plomo disipa energía y restringe los desplazamientos laterales (ver fig. 2.3.3), Masahiko Higashino [ref.25] ha utilizado este tipo de aisladores sin el elemento de plomo, el cual es sustituido por disipadores del tipo viscoso (fig. 2.3.6).

Los aisladores del tipo deslizante o fricción generalmente están provistos de elementos que restringen los desplazamientos o de elementos disipadores como se puede observar en las figs. 2.3.4.

En los aisladores a base de suspensión de cables que para cada columna le corresponde un dispositivo aislador en el cual la columna queda suspendida a través de cables, que se combinan con disipadores de energía. Este tipo de aislador se puede observar en la fig. 2.3.5

Las estructuras con sistema de aislamiento sísmico que existen en el mundo son principalmente en puentes, en segundo lugar se encuentran edificios destinados a vivienda, escuelas y de oficinas, en menor cantidad existen plantas nucleares y otro tipo de estructuras, en la [ref.26] se mencionan algunas estructuras aisladas.

2.3.1. LUGARES FACTIBLES PARA LA IMPLEMENTACION DE AISLADORES

El principio fundamental de estructuras provistas con aisladores es que las aceleraciones inducidas a las estructuras por efecto sísmico sean mucho menores al alargar el período, comparado con el de una estructura convencional. Intervienen factores tales como las características del movimiento en relación al contenido de frecuencias y las propiedades de la estructura (como el período natural de la misma). En la fig. 2.3.7 se ilustra en forma gráfica que al alargar el período e incrementar el amortiguamiento se reduce la aceleración en la estructura.

Dado que cualquier tipo de aislador se basa en disminuir las aceleraciones espectrales mediante un alargamiento del período de vibración de la estructura, se tiene que no se admite el uso de estos sistemas estructurales en edificios con período moderado que al ser incorporados dispositivos aisladores alargan aún más el período y además que estén sujetas a sismos con período dominante largo ya queda por resultado que las aceleraciones inducidas son aún mayores con relación a la misma estructura sin aisladores. Por lo que el uso de aisladores sísmicos es recomendable en sitios donde los temblores tienen contenido de frecuencias grande, es decir, con período dominante corto.

Los lugares con estas características son en la ciudad de México la zona de terreno duro y la zona de terreno de transición, en el estado de Guerrero, Oaxaca, Guadalajara y en general las zonas sísmicas de terreno duro o de transición. En cuanto al tipo de estructuras es recomendable tengan un período corto lo que generalmente conduce a estructuras de poca altura, en cuanto a estructuras de altura considerable tenemos por un lado que se pueden presentar momentos de volteo, por otro, para estructuras con período muy largo los desplazamientos basales resultan excesivos.

Es poco factible la implementación de sistemas aisladores para la zona blanda del valle de México, ya que los sismos son de banda angosta con períodos dominantes alrededor de 2 segundos, lo que implica tener estructuras de altura considerable, en las que se presentarían problemas de inestabilidad por momentos de volteo y además se tendrían asentamientos diferenciales que afectan el buen funcionamiento del aislador, y desplazamientos basales excesivos.

2.3.2. CARACTERÍSTICAS DESEABLES DE SISTEMAS AISLADORES

Dentro de estas características se encuentran las siguientes:

- Resistencia, rigidez y estabilidad ante cargas verticales.
- Capacidad suficiente de desplazamiento lateral relativo y estabilidad, ante la excitación sísmica máxima.
- Rigidez y resistencia inicial adecuada para soportar cargas debidas a viento.
- Capacidad para disipar energía ante cargas alternadas.
- Eficiencia ante la acción de cargas repetidas.
- Vida útil del sistema, por lo menos igual al resto de la estructura, factibilidad de reposición y mantenimiento.
- Resistencia a condiciones extremas de intemperismo.
- Capacidad de restauración a su posición original.
- Resistencia a la tensión, para tomar momentos de volteo de la estructura.
- Coincidencia del centro de rigidez del sistema, con el centro de rigidez de la cimentación y la superestructura, con el fin de evitar fuerzas cortantes por torsión.

III EDIFICIO EXISTENTE CON AISLADORES

3.1 INTRODUCCION

M. González Flores, planteó en México en el año de 1964, algunas ideas de cómo eliminar las fuerzas sísmicas por medio de aislamiento sísmico de la estructura, desde entonces hace notar que "esta solución no será la panacea" e intuye que su implementación de alguna manera "estará relacionada con el sismo característico del lugar". Las fuerzas de fricción del modelo de aislamiento que propone él no son suficientes para evitar que el viento, así como sismos de pequeña magnitud, desplacen al edificio [ref. 28].

El modelo que aquí se propone está inspirado en uno de los primeros edificios con aisladores en el mundo, construido en la ciudad de México en 1974 por el Ing. González Flores. La estructura se encuentra en las calles de Lago Ximilpa y Calzada de Legaria, Col. Argentina sobre terreno de transición (entre duro y blando). Este ha resistido severos sismos sin sufrir daño alguno, desafortunadamente no cuenta con instrumentación sísmica que permita estudiar en forma cuantitativa la eficiencia del sistema. El modelo propuesto en este trabajo se basa

en las propiedades dinámicas de dicho edificio las cuales se obtienen a partir de planos arquitectónicos y pruebas de vibración ambiental [ref.27].

3.2. DESCRIPCION DEL EDIFICIO EXISTENTE CON AISLADORES

El edificio es de concreto reforzado, consta de cinco niveles y sótano. Cada nivel tiene un área de 952.2 m^2 excepto el nivel de azotea cuya área es de 538.2 m^2 . La planta baja y el sótano tienen un área de 1267.7 m^2 . El primer entrepiso es de 3.20 m de altura y los siguientes de 3.0 m (figs. 3.2.1 y 3.2.2). El edificio presenta muros divisorios no estructurales y muros diafragma de mampostería vitrificada reforzado con varilla de 3/8 de pulgada de diámetro y mortero entre los huecos. El cubo de escaleras está formado por muros diafragma. La losa de la planta baja es maciza de concreto, de 0.15 m de espesor, estructurada con trabes coladas monolíticamente de 0.45 m de altura y ancho variable (0.30 - 0.60 m). La losa de entrepiso y azotea está formada por losacero de 0.10 m de espesor, apoyada en el paño superior de las trabes. Las columnas del primer nivel están ahogadas sobre dados de desplante que se apoyan sobre las unidades antisísmicas.

La estructura presenta un cajón de cimentación y cuenta con un muro perimetral de 0.15 m de espesor de concreto reforzado, en su parte superior (nivel de banqueta) tiene una holgura que alberga una trabe

de borde perimetral de la losa de la panta base. Dicha holgura permite un desplazamiento de 0.15 m entre la estructura y la cimentación. Sobre la losa de cimentación se apoyan columnas de 1.57 m de altura de sección cuadrada de 0.60 x 0.60 m que soportan un dado de apoyo en el cual se ubican las unidades aislantes. Cada dado cuenta con dos dispositivos de aislamiento protegidos con hule de polietileno sujetos con una abrazadera. De la parte baja de las columnas anteriores parten cables de acero con diámetro de 5/8 de pulgada a los dados de desplante de la superestructura, ubicados en los extremos de cada marco en forma diagonal. Estos se cruzan uno con otro separados por la trabe que liga a los dados en que se apoyan los aisladores. Dichos tensores permiten restringir el desplazamiento lateral de la superestructura con respecto a la base del aislador.

La superestructura consta de columnas rectangulares de 0.50 x 0.50 m y trabes de 0.70 x 0.30 m. Las columnas de planta baja se desplantan sobre dados de concreto de 1.30 x 1.30 x 0.45 m.

El dispositivo de aislamiento que se encuentra entre la cimentación y la superestructura está constituido por dos placas de neopreno de sección cuadrada de 0.40 x 0.40 x 0.0254 m en contacto directo con la cimentación y la superestructura, seguidas por dos placas de acero de 0.60 m de diámetro y 0.0254 de espesor, entre estas dos placas se encuentran esferas de acero o balines con diámetro de 0.00875 m (11/32 de pulgada) que se encuentran lubricados con grasa, confinados con un anillo formado con una barra de acero con diámetro de 0.000556 m y un radio de 0.20 m, un bloque prismático de concreto de 0.41 m de diámetro y 0.185 m de altura, cuya finalidad es dar mayor facilidad en las maniobras de mantenimiento. La forma de los elementos y su ubicación se aprecian en la fig. 3.2.3

Los cables colocados en diagonal entre la cimentación y la superestructura restringen el desplazamiento lateral en la base de la superestructura. Estos tienen poca capacidad de disipación de energía, por lo que en este estudio se sustituyen por dispositivos

capaces de disipar gran contenido de energía. Dichos dispositivos son de solera o fierro comercial en forma de U o de J. Los cuales tienen bien definido su comportamiento histéretico, su comportamiento inelástico no lineal se debe a un rolado por flexión, semejante al movimiento de las orugas de un tractor. Al efectuarse tal comportamiento se presenta disipación de energía. Se plantea que estos disipadores se encuentren entre la cimentación y la superestructura, conectados en un extremo a la cimentación, en el dado de apoyo del aislador y en el tramo opuesto a la superestructura en el dado de desplante de las columnas del primer nivel.

3.3 COMPARACION ENTRE RESULTADOS DE VIBRACION AMBIENTAL Y TEORICOS

Por medio de pruebas de vibración en campo se obtuvieron períodos y formas modales de vibrar de la estructura los cuales se comparan con los obtenidos con un modelo matemático, en este modelo se considera a la estructura en forma tridimensional. Se obtuvieron las propiedades del edificio usando el programa SUPER-ETABS. Se consideraron tres grados de libertad por nudo: longitudinal, transversal y rotacional. Se hace la hipótesis que la estructura está formada por marcos planos unidos por un sistema de piso rígido. El modelo considera longitudes efectivas de columnas, pretiles, muros de mampostería y escaleras.

Se presentan las propiedades en la siguiente tabla. En ella se muestran diferencias menores del 5%. En este análisis se observó que las formas modales y el período son muy sensibles a la rigidez del sistema de aislamiento. En la fig. 3.3.1 se muestran los dos primeros modos de vibrar de la estructura [refs 32, 33 y 34].

PERIODO DE VIBRACION

	LONG.	TRANS.	TORS.
MODELO I [EXPERIMENTAL]	0.54	0.50	0.48
MODELO II [MATEMATICO]	0.56	0.53	0.50

3.4 CARACTERISTICAS DEL DISIPADOR PROPUESTO PARA EL SISTEMA

En la actualidad se cuenta con una amplia variedad de dispositivos de disipación de energía que pueden incorporarse en la superestructura para incrementar el amortiguamiento así como en sistemas estructurales con aisladores sísmicos. El disipador que se propone en este estudio es de origen mexicano, se cuenta con información detallada sobre su comportamiento.

El dispositivo propuesto disipa energía a través de deformación plástica de un rolado producido por flexión, en el capítulo 2.1 se da una introducción del empleo de estos dispositivos en México, sus características geométricas (ver apéndice B) y su comportamiento histerético.

Se han ensayado diferentes amplitudes de ciclos para tener una idea de la influencia que ésta tiene sobre el comportamiento del dispositivo y se obtuvo para las características geométricas mostradas en el capítulo 2.1 el número de ciclos completos a la falla sobrepasa a 100 para una amplitud del ciclo de ± 2.5 cm y conforme la amplitud del ciclo se incrementa el número de ciclos se reduce, por ejemplo: con un

radio de $R = 4$ cm se logra tener 50 ciclos con una amplitud de ± 3.00 . En la fig. 3.3.2(a) y b) se observa el ciclo histerético aplicando desplazamientos de ± 5 cm de amplitud en el cual no presentó degradación de rigidez apreciable, pero en cambio es importante la fatiga del dispositivo para amplitudes mayores de ± 3.0 cm como lo muestra la fig. 3.3.3. Actualmente se está trabajando en el laboratorio del Instituto de Ingeniería de la UNAM sobre dispositivos con distintas características geométricas y de material (acero) para obtener amplitudes mayores de ± 5 cm sin que se presente fatiga antes de los 100 ciclos.

El incremento de temperatura es muy importante ya que alcanzan temperaturas mayores de 100°C en amplitudes mayores ± 2.5 cm. El incremento de temperatura indica una deformación en el rango inelástico, por lo que se tiene un número reducido de ciclos antes de que ocurra la falla, por lo que se hace necesario buscar una mejor distribución de esfuerzos para disminuir la temperatura e incrementar el número de ciclos a la fatiga.

En el dispositivo aparecen fuerzas importantes al efectuarse el colado por flexión, como son momentos asociados con la flexión plástica, así como cargas axiales para lograr la acción de rolado que provocan esfuerzos considerables en el marco de confinamiento del dispositivo, que deben ser tomados en cuenta para el buen funcionamiento del dispositivo. En el apéndice "A" se muestra en forma detallada las características del dispositivo.

IV SELECCION DE LOS MOVIMIENTOS SISMICOS

Los sistemas de aislamiento resultan eficientes en lugares donde el contenido de frecuencias altas es grande, que corresponde a las zonas sísmicas de terreno duro o de transición con distancias epicentrales cortas.

Los modelos en este estudio se someten a la acción de dos familias de acelerogramas que corresponden a registros sísmicos en las estaciones Pellandini en Acapulco, Gro. y Viveros en el Distrito Federal.

Los acelerogramas se escalan de forma tal que las ordenadas espectrales máximas de aceleración corresponden a un período de recurrencia de 100 años. El riesgo sísmico de estos lugares es alto, como es el caso de la brecha de Guerrero que ha sido considerada actualmente como la zona de más alto riesgo sísmico en el país.

4.1. ACELEROGRAMAS Y ESPECTROS DE VIVEROS, D. F. Y ACAPULCO, GRO.

Se seleccionaron siete acelerogramas correspondientes a terreno de transición de la ciudad de México registrados en la estación de Viveros y seis registrados en terreno duro correspondientes a Acapulco, Gro. registrados en la estación Pellandini, estos se muestran en las figuras 4.1 y 4.2. Las aceleraciones máximas se presentan prácticamente en el inicio de los registros de Viveros, en cuanto a Acapulco los registros son mucho más largos y las aceleraciones máximas se presentan aproximadamente 40 segundos después que inicia la excitación.

Se obtienen los siete espectros elásticos con un 5% del amortiguamiento crítico de los acelerogramas registrados en la estación de Viveros y los seis correspondientes a Acapulco, Gro. Estos se muestran en las figuras 4.3 y 4.4, en las cuales se puede observar claramente que los periodos dominantes en los que se presentan las máximas aceleraciones se encuentra entre 0.5 y 1.4 segundos para Viveros, y entre 0.1 y 0.5 segundos en Acapulco.

Por el hecho de que los periodos dominantes resultan mucho más cortos

en Acapulco se espera que el sistema de aislamiento resulte más eficiente en este sitio, ya que el aislamiento alarga el período original de la estructura y en este caso al tener un intervalo de períodos dominantes relativamente corto resulta ser más factible alejarse de estos períodos en comparación con un intervalo más amplio, como es en Viveros.

En las siguientes tablas se presentan las principales características de los acelerogramas empleados en este estudio.

TABLA 4.1.1. Características de los movimientos. Viveros

Sismo Núm.	Fecha	Coordenadas Latitud N-Longitud W	Acel máx espectral/g	Magnitud Ms	Dirección
1	80.10.24	18.440 - 98.130	0.1535	6.4	N 00 E
2	85.09.19	18.182 - 102.573	0.1688	8.1	N 00 E
3	85.09.19	18.182 - 102.573	0.160	8.1	N 90 E
4	85.09.19	18.182 - 102.573	0.1694	8.1	N 32 W
5	85.09.19	18.182 - 102.573	0.160	8.1	N 58 W
6	85.09.21	17.300 - 108.230	0.0782	7.5	N 00 E
7	85.09.21	17.300 - 108.230	0.1295	7.5	N 90 E

TABLA 4.1.2. Características de los movimientos. Acapulco

Sismo Núm.	Fecha	Coordenadas Latitud N-Longitud W	Acel máx espectral/g	Magnitud Ms	Dirección
1	79.03.14	17.813 - 101.276	0.0853	6.5	N 00 E
2	79.03.14	17.813 - 101.276	0.1395	6.5	N 90 E
3	85.09.19	18.182 - 102.573	0.0744	8.1	N 00 E
4	85.09.19	18.182 - 102.573	0.0933	8.1	N 90 E
5	85.09.21	17.300 - 108.230	0.0557	7.5	N 00 E
6	85.09.21	17.300 - 108.230	0.0793	7.5	N 90 E

4.2 PERIODO DE RECURRENCIA DE LOS SISMOS

El riesgo sísmico en un lugar determinado lo expresamos en términos de la frecuencia media por unidad de tiempo con que se excede una determinada intensidad la cual la podemos expresar como la máxima aceleración, la ordenada del espectro de respuesta para valores dados del período natural y un amortiguamiento dado, o cualquier otro parámetro ligado directamente con las características que definen el movimiento sísmico en un lugar dado. En forma simplificada la actividad sísmico de un sitio específico se representa mediante una curva de tasa de excedencia, donde la escala vertical es logarítmica y la curva en su extremo derecho es asíntotica a una vertical cuya abscisa es el máximo valor de la intensidad que puede considerarse en el del sitio específico que se trate.

En las figs. 4.5 y 4.6 se presentan las curvas que relacionan la intensidad expresada como la aceleración espectral máxima y (V) el número de veces por unidad de tiempo (año) que cada intensidad se excede, que corresponde a terreno firme tanto para el Distrito Federal como para Acapulco. En estas figuras, tanto los ejes horizontales como verticales son logarítmicos.

Los sismos seleccionados se escalan de tal manera que alcancen una aceleración espectral correspondiente a un período de retorno de 100 años para ambos sitios. Debido que no se cuenta con una curva de tasa de excedencia de la aceleración espectral para terreno de transición (que es el caso de los sismos de Viveros), se realiza una interpolación de la siguiente manera:

1. Se obtienen las aceleraciones espectrales máximas de los sismos del 19 y 21 de septiembre del 85 registrados en Ciudad Universitaria que corresponden a terreno firme.
2. Se obtienen las aceleraciones espectrales máximas de los sismos seleccionados de Viveros que corresponden a las mismas fechas que los anteriores.
3. Se obtiene el promedio de las aceleraciones espectrales máximas por fechas, tanto para terreno firme como para terreno de transición.
4. Se obtiene la relación que existe entre las ordenadas de aceleraciones máximas de terreno de transición y firme.
5. Se promedian dichas relaciones cuyo valor es una aproximación de las amplificaciones que existen de terreno firme a terreno de transición para estos dos lugares determinados.
6. Se obtiene la aceleración espectral máxima en terreno firme para un período de retorno de 100 años correspondiente a terreno firme en el Distrito Federal (fig. 4.5), dicho valor de aceleración se multiplica por el factor de amplificación obtenido en el punto 5, el valor final es la aceleración espectral máxima en terreno de transición para un período de retorno de 100 años.
7. Se obtienen los espectros elásticos de los acelerogramas seleccionados en los cuales se puede observar la aceleración

espectral máxima para diferentes períodos.

- Se obtiene el cociente de la aceleración espectral máxima obtenida en el punto 6 entre la aceleración máxima de cada espectro obtenido en el punto anterior. El valor obtenido es un factor de escala por el cual se multiplican las aceleraciones correspondientes de cada sismo para obtener una excitación con un período de retorno de 100 años.

A continuación se muestran los valores de los puntos anteriores:

TABLA 4.2.1. Sismos Registrados en terreno duro (C.U.)

Sismo Núm.	Fecha	Acel máx espectral/g	Promedio
1	85-09-21	0.0774	0.0938
2	85-09-21	0.0910	
3	85-09-21	0.0980	
4	85-09-21	0.1090	
1	85.09.19	0.1110	0.1310
2	85.09.19	0.1440	
3	85.09.19	0.1320	
4	85.09.19	0.1420	
5	85.09.19	0.1140	
6	85.09.19	0.1430	

El promedio de la aceleración máxima espectral/g para los sismos de Viveros del 21 y 19 de septiembre de 1985 vistos en el capítulo 4.1 son de 0.1295 y 0.1646 respectivamente. La relación entre terreno firme y de transición se obtiene con los promedios anteriores:

Para el 19 septiembre se tiene una relación promedio de 1.250 que corresponde a la amplificación de terreno firme a terreno de

transición.

Para el 21 de septiembre se tiene una relación promedio de 1.379 de amplificación.

El promedio de las 2 relaciones anteriores resulta de 1.31.

La aceleración espectral máxima en terreno firme en el Distrito Federal para un período de 100 años (fig. 4.5) es de:

$$A_d = 175 \text{ cm/seg}^2$$

Aceleración espectral máximo en terreno de transición resulta ser:

$$A_t = 175 \times 1.31 = 229.25 \text{ cm/seg}^2$$

$$A_t/g = \frac{229.25 \text{ (cm/seg}^2\text{)}}{981 \text{ (cm/seg}^2\text{)}} = 0.2337$$

Los factores de amplificación para cada sismo de Viveros se tienen en la siguiente tabla:

TABLA 4.2.2. Factores de Amplificación de Sismos de Viveros

Sismo Número	Factor de Amplificación
1	1.52
2	1.38
3	1.46
4	1.40
5	1.46
6	3.00
7	1.80

Los factores de Amplificación para los sismos correspondientes a Acapulco se obtienen en los siguientes puntos:

10. La aceleración espectral máxima para terreno firme en Acapulco con un período de retorno de 100 años, de la figura 4.6, es de:

$$A_d = 500 \text{ cm/seg}^2$$

$$A_d/g = \frac{500 \text{ (cm/seg}^2\text{)}}{981 \text{ (cm/seg}^2\text{)}} = 0.51$$

20. La aceleración espectral máxima de cada sismo de Acapulco se muestra en la tabla 4.2, los factores de amplificación de los sismos para alcanzar la aceleración del punto anterior se muestra en la siguiente tabla.

TABLA 4.2.3. Factores de amplificación de sismos de Acapulco

Sismo Número	Factor de Amplificación
1	6.0
2	3.7
3	6.6
4	5.5
5	9.2
6	6.5

V MODELOS ESTRUCTURALES UNI Y BIDIMENSIONALES

Con el propósito de estimar cuanto se reducen las fuerzas cortantes en el edificio al incluir en este un sistema aislador-disipador se formula como primera un modelo unidimensional representativo del edificio, (como viga de cortante) constituido por masas concentradas y rigideces de entrepiso, el modelo se considera con y sin el sistema aislador-disipador.

Con base en los resultados del modelo unidimensional se procede al análisis de modelos en dos dimensiones los cuales son diseñados con detalle, marcos típicos correspondientes al edificio con y sin sistema aislador-disipador.

Los diseños de los modelos bidimensionales se hacen bajo dos suposiciones: a) con estructuración convencional, que obedece a los respectivos reglamentos de diseño de cada sitio seleccionado (Acapulco, Gro. y México, D. F.); y b) con estructuración que incluye un sistema aislador-disipador sísmico.

5.1 FUERZAS SISMICAS EN EDIFICIOS DE CORTANTE

Los edificios de cortante es la concepción más simple de idealizar y analizar una estructura real, en el presente estudio se hace la idealización a través de masas concentradas perfectamente rígidas y elementos de resistencia y amortiguamiento. Se considera el análisis solo en el plano, en este se desprecian las deformaciones axiales de los miembros. Se efectúa un análisis con objeto de obtener de manera apriori la reducción de fuerzas cortantes en la superestructura.

Se realiza una estimación de las masas por nivel las cuales se muestran en la siguiente tabla:

TABLA 5.1.1. Estimación de masas por nivel

Nivel	Masa (Ton-seg ²) /cm
5	0.3583
4	0.7429
3	0.7223
2	0.7223
1	0.7223
Planta Baja	0.9399
Aislador	0.0248

Las rigideces de entrepiso se obtienen a partir de que las frecuencias y modos naturales que satisfacen la ecuación de equilibrio que se expresa a continuación:

$$\omega_n^2 [M] \{ Z \}_n = \{ F \}_n$$

donde:

ω_n = Frecuencia natural

[M] = Matriz de masa

{ Z } = Vector de formas modales

{ F } = Vector de fuerzas

La frecuencia y vector de formas modales se obtienen de las mediciones de vibración ambiental, las rigideces de entrepiso que se obtiene son las siguientes:

TABLA 5.1.2 Rigideces de Entrepiso

Entrepiso	K (Ton / cm)
5	159.976
4	1474.693
3	1700.402
2	1809.117
1	1809.500
Aislador	959.409

Rigidez y Resistencia del Sistema Aislador-Disipador

La rigidez y resistencia adecuada del aislador es aquella que soporta las cargas de viento, así como pequeños sismos. Por lo que se hace un análisis de viento para determinar cual es la resistencia que debe tener el sistema y la rigidez se toma con base en las características del disipador propuesto para el sistema, de tal manera que cumpla con la resistencia por viento.

En el análisis de viento se considera un período de recurrencia de 100 años de la velocidad regional correspondiente a la zona eólica de Acapulco, Gro.

La fuerza que tiende a desplazar a la estructura producida por presión o succión del viento es de 200.00 toneladas en una sola dirección (transversal). Para lograr tener esta resistencia en el sistema con el disipador propuesto es necesario tener 97 ovalos disipadores en una dirección, los cuales nos dan una rigidez inicial de 545.819 ton/cm.

En este estudio se descarta la rigidez del aislador obtenida a través de vibración ambiental porque en primer lugar se desconoce la resistencia que tiene el sistema, en segundo lugar si se modela con esta rigidez a través de los ovalos disipadores (apéndice A) se tendría una resistencia elevada en un 75.8% de la necesaria por viento

Al hacer las consideraciones anteriores sobre la rigidez y la resistencia obtenida por viento, el período del modelo de viga de cortante se incrementa de 0.58 seg. a 0.68 seg.

En el análisis se consideran que los entrepisos tienen un

comportamiento linal elástico y el sistema aislador-disipador bilineal inelástico, cuya primera rama de su curva fuerza-desplazamiento, tiene una rigidez de 545.82 ton/cm y una fuerza de fluencia de 200 toneladas, la segunda rama presenta una pendiente igual al 5% de la rigidez inicial. Para el edificio ubicado tanto en el Distrito Federal como Acapulco se estima que serían necesarios 194 ovalos disipadores aproximadamente (colocados en ambas direcciones). Los modelos unidimensionales aislados tienen un período de 0.68 segundos y los empotrados 0.44 segundos, en ambos sitios seleccionados.

Las fuerzas cortantes que resultan al excitar los edificios lineales aislados con los acelerogramas escalados se comparan con las que se calculan de los edificios lineales elásticos empotrados en su base. En las siguientes tablas se muestran las fuerzas sísmicas de entrepiso que se desarrollan en la estructura aislada y empotrada para ambos sitios.

TABLA 5.1.3 Envolvente de Cortante Edificio Aislado en el D. F. (Viveros)

Entre-piso	FUERZA CORTANTE (EN TONELADAS)						
	Sismo 1	Sismo 2	Sismo 3	Sismo 4	Sismo 5	Sismo 6	Sismo 7
5	70.13	73.78	81.28	74.31	83.00	73.77	48.13
4	120.16	128.40	117.44	125.29	126.47	131.39	104.44
3	187.51	181.12	170.78	203.52	179.26	178.74	159.39
2	238.47	227.92	211.27	248.78	223.10	218.59	196.67
1	251.09	237.87	236.99	252.28	257.38	236.15	214.35
Aislador	217.18	241.25	243.65	240.76	243.53	235.64	218.48

TABLA 5.1.4 Envolvente de Cortante Edificio Convencional en el D. F.
(Viveros)

Entre-piso	FUERZA CORTANTE (EN TONELADAS)						
	Sismo 1	Sismo 2	Sismo 3	Sismo 4	Sismo 5	Sismo 6	Sismo 7
5	130.54	83.06	71.37	89.53	69.62	111.94	79.62
4	289.94	195.67	166.69	209.87	162.76	248.70	179.82
3	404.46	293.00	246.74	311.80	240.62	358.61	261.34
2	476.25	372.30	310.78	392.44	302.53	442.81	322.94
1	516.45	429.80	356.25	448.39	345.38	506.36	361.41

TABLA 5.1.5 Envolvente de Cortante Edificio Aislado en Acapulco

Entre-piso	FUERZA CORTANTE (EN TONELADAS)					
	Sismo 1	Sismo 2	Sismo 3	Sismo 4	Sismo 5	Sismo 6
5	73.24	72.78	90.18	91.13	84.21	104.06
4	134.28	140.61	170.31	178.88	187.13	171.78
3	209.17	199.72	249.28	266.87	263.01	244.99
2	240.75	230.91	282.95	299.32	278.93	257.15
1	231.74	229.07	276.82	278.88	253.47	249.84
Aislador	224.03	223.29	222.52	239.62	232.60	252.33

TABLA 5.1.6 Envolvente de Cortante Edificio Convencional en Acapulco

Entre-piso	FUERZA CORTANTE (EN TONELADAS)					
	Sismo 1	Sismo 2	Sismo 3	Sismo 4	Sismo 5	Sismo 6
5	204.37	131.97	250.00	324.75	352.73	244.69
4	353.14	307.16	487.68	487.62	716.86	445.87
3	498.55	433.78	712.70	716.70	981.61	616.00
2	599.31	515.52	916.35	903.33	1251.29	796.58
1	516.45	429.80	1023.59	1006.74	1442.31	926.07

5.2. CRITERIOS Y DISEÑO DE MARCOS CON Y SIN AISLADORES

Se diseñan con detalle cuatro marcos típicos correspondientes a edificios con y sin aislamiento, ubicados en los sitios antes mencionados (D. F. y Acapulco).

El diseño estructural se realiza de acuerdo con las especificaciones de los reglamentos de diseño sísmico de los sitios seleccionados (refs 29 y 30) tomando en cuenta además los siguientes criterios en el diseño.

CRITERIOS DE DISEÑO PARA MARCOS CON AISLADORES

10. Se elige el tipo de estructura en cuanto a sus características geométricas en planta como en altura, de tal manera que los momentos de volteo no sean significativos.
20. Determinación de la fuerza de fluencia de aislador con base en un análisis de viento, así como la determinación de la rigidez del aislador con base en el comportamiento histerético del

dispositivo aislador-disipador.

30. Evaluar la factibilidad en cuanto a su instalación en un lugar determinado, el cual consiste en determinar el espectro característico del sitio, el rango de períodos dominante y determinar el período de la estructura con y sin aisladores, de tal forma que la instalación es factible cuando el período de la estructura con aisladores le corresponda una ordenada espectral menor. Esto sucede cuando el período de la estructura aislada cae en la rama descendente del espectro de sitio.
40. Determinar aproximadamente la reducción de las fuerzas sísmicas por la implantación del sistema aislador-disipador. El cual puede realizarse de una manera simplificada a través de un modelo de cortante en el que se considera a la superestructura en el rango elástico y el aislador con un comportamiento bilineal.
50. A partir de la fuerza sísmica aproximada se procede a un prediseño de la estructura. Para esto se puede considerar a la estructura en forma convencional con reducción de la fuerza sísmica (obtenida en el punto anterior). Se determina el factor de comportamiento sísmico de acuerdo con el factor de daño que se establezca y se siguen los requisitos de los códigos respectivos para según el tipo de estructura.
60. Se realiza un prediseño de la cimentación, la cual debe ser una estructuración rígida, de tal forma que no se presenten deformaciones diferenciales. Esta deberá albergar el sistema aislador-disipador por lo que generalmente es una cimentación el cajón rigidizada con columnas y trabes. La cimentación deberá contar dentro de lo posible con simetría tanto en rigidez como en resistencia; además deberá contar con una holgura entre el cajón de cimentación y la superestructura para los

desplazamientos relativos que se esperen.

- 7o. Establecer el tipo de sistema de aislamiento y disipación de energía que cumplan con los requisitos de: ' la fuerza de fluencia requerida por viento, rigidez adecuada de tal forma que no se presenten desplazamientos excesivos, coincidencia del centro de rigidez entre la cimentación, aislador y superestructura.
- 8o. Realizar un análisis inelástico paso a paso, con la excitación característica del lugar escalado para un período de retorno preestablecido. En dicho análisis se considera a cada elemento con un comportamiento bilíneal.
- 9o. Estudio de resultados del análisis inelástico.
- 10o. Rediseño con otro nivel de cortante y volver al punto 5o.
- 11o. Diseño definitivo de la estructura con base en el análisis de resultados inelásticos.

El criterio de diseño de los marcos sin aisladores es el especificado para los marcos dúctiles convencionales. En este se consideran los siguientes puntos: una aceleración espectral con un período de retorno de 100 años; un factor de comportamiento sísmico de 3 y cumplir con los requisitos sobre marcos dúctiles, (dichos requisitos se consideraron también en los marcos con aisladores) de las refs 29 y 30.

5.3 ANALISIS SISMICO INELASTICO DE MARCOS CON Y SIN AISLADORES

Se analizan cuatro marcos típicos correspondientes de edificios con y sin aisladores, tanto para el Distrito Federal como Acapulco, Gro. Los edificios con aisladores sísmicos se diseñan con una reducción de la sollicitación sísmica del 45% para ambos casos. Esta reducción es ligeramente conservadora comparada con los promedios de reducción que se obtiene en la sección anterior. Los diseños de los marcos se muestran en forma detallada en el Apéndice B. En el presente análisis cada marco se modela bidimensionalmente. Se supone que las columnas pueden acortarse, se respeta la filosofía de marco dúctil de columna fuerte y viga débil, además las vigas se consideran flexibles. Los marcos del edificio sin aisladores se suponen empotradas en su base. Los períodos naturales de la estructura empotrada son de 0.41 segundos y del edificio aislado de 0.72 segundos, para ambas ubicaciones seleccionadas.

El análisis en el tiempo de los marcos antes mencionados se realiza a través del programa de cómputo DRAIN 2-D [ref 31]. La relación

momento flexionante vs rotación en los elementos de la superestructura se considera bilineal, donde la segunda rama es igual 1% con relación a la primera. En cuanto al sistema aislador-disipador también se considera con comportamiento bilineal donde la segunda rama es igual 5% con relación a la primera, éste valor se tomó con base en las pruebas experimentales del disipador.

El aislamiento con el que cuenta la estructura es de tipo rodante en el cual no es posible que se presenten efectos de segundo orden. El efecto $P-\Delta$ es significativo para sistemas aislantes que presenten relación de esbeltez grande. Sin embargo aunque el tipo de sistema que aquí se estudia no presenta tal efecto se realiza el análisis con y sin efecto $P-\Delta$ en la estructura aislada con objeto de saber que tan importante resultaría en aisladores donde se pudiera presentar tal efecto.

Los resultados que se obtienen para las estructuras empotradas muestran que las articulaciones plásticas aparecen en ambos casos (D. F. y Acapulco) (gran número de elementos entran en el intervalo inelástico), principalmente vigas, lo cual es congruente con las hipótesis hechas en el diseño de considerar una demanda de ductilidad 3 y de respetar la filosofía de diseñar "estructuras con columnas fuertes y vigas débiles". En cuanto a la estructura aislada tenemos que para el sitio de Acapulco ningún elemento en la superestructura incursiona en el intervalo inelástico mientras que para el D. F. (Viveros) se presentan muy pocas articulaciones plásticas en los dos primeros niveles (cuando más tres articulaciones). Resulta evidente que el sistema en el Distrito Federal no produce la disminución total de elementos dañados pero los reduce en forma significativa, como se puede observar en las figs 5. 3. 1 (I y II), donde se indica en cada marco los elementos que incursionan en el intervalo inelástico de las estructuras con y sin aisladores, tanto para el D. F., como para Acapulco.

En las siguientes tablas se presentan los cortantes de entrepiso de

cada marco con y sin aisladores para los dos sitios seleccionados.

TABLA 5.3.1. Cortante de entrepiso del marco representativo del edificio aislado en el D. F. (Viveros)

ENTRE- PISO	CORTANTE MAXIMO (EN TONELADAS)					
	SISMO 1		SISMO 2		SISMO 3	
	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo
5	17.18	16.46	17.98	18.55	19.56	19.42
4	29.56	26.49	29.85	31.78	32.07	33.80
3	40.37	35.36	39.88	41.26	38.42	43.19
2	38.58	38.90	41.49	36.02	40.41	38.12
1	46.78	41.61	43.16	43.72	44.56	46.80
Aislador	33.85	31.08	35.47	34.53	34.86	35.12

CONTINUACION

CORTANTE MAXIMO (EN TONELADAS)							
SISMO 4		SISMO 5		SISMO 6		SISMO 7	
Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo
17.75	18.46	20.65	19.78	18.31	19.04	15.23	15.07
29.86	31.21	34.83	33.51	31.92	32.78	24.53	24.04
38.78	41.58	41.33	41.97	42.57	40.96	34.5	33.91
41.46	36.99	41.77	37.44	38.09	40.69	38.67	38.08
43.82	44.15	45.95	48.16	45.12	43.00	41.50	41.33
34.33	33.77	34.89	35.16	34.12	34.37	30.59	30.52

TABLA 5.3.2. Cortante de entrepiso del marco representativo del edificio aislado en Acapulco, Gro.

ENTRE- PISO	CORTANTE MAXIMO (EN TONELADAS)					
	SISMO 1		SISMO 2		SISMO 3	
	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo
5	19.28	17.96	18.34	17.9	19.43	18.47
4	32.05	29.01	31.98	30.51	33.24	32.09
3	40.51	37.24	42.86	41.98	41.80	41.94
2	35.74	38.30	37.81	39.00	34.09	36.31
1	43.79	40.46	45.58	46.91	43.93	44.38
Aislador	32.58	31.16	32.25	31.87	31.61	31.63

CONTINUACION

CORTANTE MAXIMO (EN TONELADAS)					
SISMO 4		SISMO 5		SISMO 6	
Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo
18.11	20.01	21.84	23.56	20.44	18.01
31.20	35.93	37.25	40.24	35.71	29.31
40.79	46.67	45.42	45.48	44.88	37.72
35.82	42.01	43.52	40.81	40.24	41.99
45.31	48.08	51.38	49.35	46.97	44.42
34.22	35.07	35.14	31.45	34.92	31.38

TABLA 5.3.3. Cortante de entrepiso del marco representativo del edificio sin aislador en el D. F. (Viveros)

ENTRE- PISO	CORTANTE MAXIMO (EN TONELADAS)					
	SISMO 1		SISMO 2		SISMO 3	
	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo
5	20.88	20.99	20.71	20.68	21.52	21.52
4	39.71	39.42	40.91	40.78	42.57	42.82
3	47.87	45.53	51.82	49.29	52.94	52.92
2	59.07	55.94	64.43	63.81	66.52	67.27
1	63.51	60.13	76.29	72.13	73.44	73.88

CONTINUACION

CORTANTE MAXIMO (EN TONELADAS)							
SISMO 4		SISMO 5		SISMO 6		SISMO 7	
Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo
21.34	21.55	21.20	21.20	22.38	23.05	22.38	22.71
42.63	21.55	42.05	41.98	43.45	45.09	42.21	43.93
55.01	42.68	52.00	52.08	53.0	56.34	51.91	53.11
70.23	52.55	66.07	66.71	66.52	70.57	65.04	66.78
78.04	67.5	73.09	73.49	71.46	75.72	71.92	73.17

TABLA 5.3.4. Cortante de entrepiso del marco representativo del edificio sin aislador en Acapulco, Gro.

ENTRE- PISO	CORTANTE MAXIMO (EN TONELADAS)					
	SISMO 1		SISMO 2		SISMO 3	
	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo
5	22.12	25.70	27.47	24.34	28.84	26.11
4	35.56	41.09	48.12	40.07	47.79	44.47
3	45.98	41.82	66.69	63.25	61.10	65.14
2	49.17	48.39	75.24	79.60	82.91	82.60
1	56.52	56.73	74.79	87.14	90.90	96.08

CONTINUACION

CORTANTE MAXIMO (EN TONELADAS)					
SISMO 4		SISMO 5		SISMO 6	
Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo
37.45	37.21	47.21	49.00	25.40	22.41
70.44	70.40	84.63	86.31	46.92	44.77
99.92	98.46	109.27	114.13	71.78	54.92
116.52	114.63	130.69	133.28	90.16	75.65
120.85	119.41	132.53	132.45	102.79	93.21

La reducción de la fuerza basal ante excitación sísmica resulta para estructuras aisladas con respecto a empotrados de 38.35% en el D. F. y

de 49.43% en Acapulco, Gro.

Los desplazamientos relativos de la base del edificio aislado con respecto a la base del sistema aislador-disipador resultan en promedio a 0.0146 m. para el D. F. y de 0.0124 m. en Acapulco, Gro. En las siguientes tablas se presentan los desplazamientos de entrepiso de la estructura con y sin aisladores.

TABLA 5.3.4 Desplazamiento de entrepiso del marco representativo del edificio aislado en el D.F. (Viveros)

ENTRE- PISO	DESPLAZAMIENTO MAXIMO (en cm)					
	SISMO 1		SISMO 2		SISMO 3	
	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo
5	2.03	1.43	1.82	1.92	2.38	2.39
4	1.97	1.39	1.82	1.87	2.33	2.35
3	1.85	1.29	1.82	1.78	2.22	2.27
2	1.73	1.15	1.81	1.65	2.07	2.14
1	1.45	0.97	1.74	1.55	1.89	1.97
Aislador	1.45	0.77	1.61	1.42	1.71	1.77

CONTINUACION

DESPLAZAMIENTO MAXIMO (en cm)							
SISMO 4		SISMO 5		SISMO 6		SISMO 7	
Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo
1.76	2.05	2.36	2.38	2.06	1.95	1.25	1.23
1.77	2.00	2.32	2.35	2.01	1.93	1.21	1.18
1.78	1.89	2.22	2.27	1.93	1.89	1.10	1.08
1.77	1.72	2.08	2.14	1.83	1.84	0.94	0.94
1.70	1.57	1.89	1.97	1.69	1.74	0.81	0.79
1.57	1.44	1.71	1.78	1.53	1.59	0.65	0.63

TABLA 5.3.5 Desplazamiento de entrepiso del marco representativo del edificio aislado en Acapulco, Gro.

ENTRE- PISO	DESPLAZAMIENTO MAXIMO (en cm)					
	SISMO 1		SISMO 2		SISMO 3	
	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo
5	1.96	1.16	1.62	1.78	1.59	1.59
4	1.90	1.12	1.57	1.73	1.53	1.55
3	1.76	1.05	1.47	1.59	1.42	1.43
2	1.58	1.00	1.34	1.41	1.26	1.25
1	1.36	0.89	1.21	1.19	1.09	1.03
Aislador	1.14	0.79	1.06	0.966	0.90	0.90

CONTINUACION

DESPLAZAMIENTO MAXIMO (en cm)					
SISMO 4		SISMO 5		SISMO 6	
Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo
1.99	2.54	2.44	1.38	1.91	1.49
1.96	2.49	2.36	1.30	1.84	1.45
1.92	2.37	2.21	1.17	1.69	1.35
1.84	2.18	2.07	1.01	1.49	1.24
1.72	1.97	1.93	0.94	1.27	1.19
1.55	1.76	1.77	0.86	1.06	1.09

TABLA 5.3.6 Desplazamiento de entrepiso del marco representativo del edificio sin aisladores en el D.F. (Viveros)

ENTRE- PISO	DESPLAZAMIENTO MAXIMO (en cm)					
	SISMO 1		SISMO 2		SISMO 3	
	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo
5	1.42	1.30	1.57	1.61	1.57	1.58
4	1.33	1.22	1.47	1.52	1.47	1.48
3	1.10	1.03	1.24	1.30	1.23	1.25
2	0.76	0.72	0.88	0.92	0.87	0.87
1	0.35	0.33	0.43	0.43	0.41	0.41

CONTINUACION

DESPLAZAMIENTO MAXIMO (en cm)							
SISMO 4		SISMO 5		SISMO 6		SISMO 7	
Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo
1.62	1.73	1.54	1.56	1.53	1.77	1.50	1.63
1.51	1.63	1.44	1.47	1.42	1.65	1.40	1.52
1.27	1.38	1.20	1.25	1.18	1.39	1.16	1.28
0.90	0.99	0.84	0.87	0.82	0.99	0.81	0.90
0.44	0.46	0.40	0.40	0.38	0.48	0.38	0.42

TABLA 5.3.7 Desplazamiento de entrepiso del marco representativo del edificio sin aisladores en Acapulco, Gro.

ENTRE- PISO	DESPLAZAMIENTO MAXIMO (en cm)					
	SISMO 1		SISMO 2		SISMO 3	
	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo
5	1.15	1.19	1.93	1.92	1.99	1.95
4	1.08	1.10	1.77	1.79	1.87	1.82
3	0.93	0.92	1.44	1.51	1.57	1.56
2	0.66	0.66	0.96	1.05	1.09	1.12
1	0.32	0.32	0.43	0.49	0.51	0.54

CONTINUACION

DESPLAZAMIENTO MAXIMO (en cm)					
SISMO 4		SISMO 5		SISMO 6	
Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo
2.97	3.05	3.67	4.12	2.22	1.78
2.74	2.84	3.43	3.97	2.08	1.68
2.26	2.30	2.87	3.45	1.74	1.45
1.56	1.56	1.97	2.43	1.22	1.05
0.71	0.71	0.87	1.10	0.58	0.51

5.4 INFLUENCIA DEL EFECTO P-DELTA EN EL AISLADOR

A continuación se presentan los resultados de considerar el efecto P- Δ . Este efecto es significativo en aisladores que presenten relación de esbeltez grande, el propósito de estudiar efectos de segundo orden es de comparar el sistema propuesto con sistemas donde se presenten dichos efectos y valorar las ventajas de nuestro sistema.

La principal influencia de tomar en cuenta efectos P- Δ es en los desplazamientos que este desarrolla. Esto significa que la superestructura presenta mayor desplazamiento con respecto a la cimentación, la cual puede reflejarse en incomodidad para sus ocupantes e inclusive presentarse una falla por servicio al ser los desplazamientos demasiado grandes.

Por lo que respecta a la fuerza transmitida a la superestructura por excitación sísmica, se tiene que ésta tiene diferencias poco significativas si tomamos en cuenta o no los efectos P- Δ .

TABLA 5.4.1 Cortante de entrepiso del marco representativo del edificio aislado con efectos P- Δ , en el D.F. (Viveros)

ENTRE- PISO	CORTANTE MAXIMO (EN TON)					
	SISMO 1		SISMO 2		SISMO 3	
	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo
5	17.18	16.18	17.70	18.37	19.03	17.87
4	29.03	26.16	29.81	31.56	31.97	29.55
3	39.0	33.88	38.76	40.67	41.12	38.18
2	40.78	36.68	40.40	35.68	42.25	41.10
1	42.75	41.50	43.84	43.29	43.17	42.00
Aislador	37.34	32.25	30.22	37.82	29.59	49.14

CONTINUACION

CORTANTE MAXIMO (EN TON)							
SISMO 4		SISMO 5		SISMO 6		SISMO 7	
Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo
18.36	19.24	20.71	18.55	17.63	18.61	14.92	14.99
30.47	32.69	35.30	31.37	30.34	31.50	23.62	23.64
39.32	42.07	43.33	40.24	40.85	38.97	33.04	32.92
41.31	36.31	41.69	41.34	38.53	39.04	36.72	36.46
44.76	43.58	44.31	43.80	46.80	41.45	40.01	39.69
30.16	37.04	29.61	47.02	33.39	40.66	31.21	30.38

TABLA 5.4.2 Cortante de entrepiso del marco representativo del edificio aislado con efectos P- Δ , en Acapulco, Gro.

ENTRE- PISO	CORTANTE MAXIMO (EN TON)					
	SISMO 1		SISMO 2		SISMO 3	
	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo
5	18.57	17.14	18.17	17.54	19.32	18.05
4	30.24	27.84	31.16	30.70	32.77	30.26
3	37.89	35.50	40.76	42.53	41.19	40.02
2	38.70	36.43	41.61	40.04	40.57	35.98
1	40.53	39.34	42.61	46.98	42.68	44.34
Aislador	33.73	31.33	30.69	33.82	28.81	35.56

CONTINUACION

CORTANTE MAXIMO (EN TON)					
SISMO 4		SISMO 5		SISMO 6	
Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo
17.58	19.97	21.35	21.61	20.44	18.01
30.17	35.09	33.09	35.54	35.71	29.31
39.38	45.38	43.69	41.43	44.88	37.72
39.58	40.92	40.54	37.66	40.24	41.99
43.78	47.01	48.02	47.71	46.97	44.42
37.39	30.43	53.46	29.45	34.92	31.38

TABLA 5.4.3 Desplazamiento de entrepiso del marco representativo del edificio aislado con efectos P- Δ , en el D.F. (Viveros)

ENTRE- PISO	DESPLAZAMIENTO MAXIMO (en cm)					
	SISMO 1		SISMO 2		SISMO 3	
	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo
5	2.87	1.64	1.12	3.02	0.95	5.74
4	2.83	1.60	1.08	2.98	0.92	5.71
3	2.74	1.51	1.01	2.88	0.84	5.64
2	2.60	1.38	0.89	2.73	0.72	5.54
1	2.45	1.23	0.73	2.56	0.56	5.40
Aislador	2.32	1.06	0.56	2.44	0.39	5.25

CONTINUACION

DESPLAZAMIENTO MAXIMO (en cm)							
SISMO 4		SISMO 5		SISMO 6		SISMO 7	
Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo
1.11	2.95	0.96	5.23	1.75	3.72	1.37	1.16
1.07	2.90	0.92	5.20	1.70	3.68	1.33	1.12
0.99	2.80	0.85	5.12	1.63	3.59	1.24	1.05
0.87	2.64	0.72	5.02	1.56	3.46	1.18	0.92
0.72	2.45	0.56	4.89	1.46	3.30	0.95	0.76
0.54	2.25	0.40	4.73	1.34	3.15	0.79	0.59

TABLA 5.4.4 Desplazamiento de entrepiso del marco representativo del edificio aislado con efectos P- Δ , en Acapulco, Gro.

ENTRE-PISO	DESPLAZAMIENTO MAXIMO (en cm)					
	SISMO 1		SISMO 2		SISMO 3	
	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo
5	2.22	1.10	1.10	2.12	0.97	1.92
4	2.14	1.09	1.03	2.07	0.89	1.86
3	1.99	1.00	0.91	1.95	0.73	1.74
2	1.80	1.02	0.84	1.81	0.54	1.58
1	1.61	0.95	0.77	1.63	0.37	1.46
Aislador	1.43	0.82	0.67	1.44	0.30	1.38

CONTINUACION

DESPLAZAMIENTO MAXIMO (en cm)					
SISMO 4		SISMO 5		SISMO 6	
Positivo	Negativo	Positivo	Negativo	Positivo	Negativo
2.54	1.25	6.33	1.68	1.72	1.08
2.54	1.19	6.49	1.10	1.82	1.02
2.55	1.07	6.65	0.96	1.90	0.94
2.53	0.94	6.80	0.76	1.97	0.94
2.45	0.78	6.90	0.56	2.07	0.91
2.33	0.60	6.95	0.39	2.14	0.84

Otra posible influencia que se combina con el efecto P- Δ en el

comportamiento del aislador es la rigidez post-fluencia del disipador que se propone. Las curvas fuerza-desplazamiento (F-d) de los disipadores se obtienen en el laboratorio. Estos presentan lazos histeréticos que varían según el nivel de desplazamiento que se preestablece en la prueba. En la figura 3.31 (a) se presentan relaciones F-d que corresponden a diferentes niveles de desplazamiento que varían desde 0.5 cm. hasta 3.0 cm [ref 11] En ellas se observa que la rigidez post-fluencia (k_2) es mayor para desplazamientos pequeños (± 0.005 m) que para los grandes (± 0.03 m). Debido a lo anterior el presente estudio se calculan las respuestas de los edificios aislados bajo la suposición de que k_2 adquiere valores entre 3% y 10% de la rigidez inicial k_1 . Los modelos bidimensionales (marcos) de los edificios con sistema aislador-disipador se excitan con las dos familias de acelerogramas escalados y se obtienen los desplazamientos máximos relativos de la base de las superestructuras con respecto a la de los aisladores. En las figs 5.4.1.a y 5.4.2.b se presentan los promedios de dichos desplazamientos para diferentes relaciones k_2/k_1 , correspondientes a los sitios del D. F. y Acapulco, con y sin efectos P- Δ . Los resultados muestran que los desplazamientos máximos relativos, para relaciones k_2/k_1 pequeñas ($k_2/k_1 < 0.04$), alcanzan valores muy altos cuando se considera que los elementos aislantes pudieran presentar efectos P- Δ . Mientras que para relaciones pequeñas de k_2/k_1 de los elementos aislantes en los que no se consideran efectos P- Δ , los desplazamientos máximos relativos se incrementan en una cantidad prácticamente insignificante comparadas con relaciones grandes de rigideces $k_2/k_1 > 0.04$). Los valores que se obtienen de los desplazamientos relativos al considerar los efectos P- Δ resultan excesivos a los que pudiera presentar en la realidad algún aislador ya que por lo general la altura de estos es menor de la que se considera en este estudio (0.87 m).

Por otro lado resulta obvio que el sistema propuesto (aislador-disipador) tiene ventajas con respecto a otros sistemas porque no presenta efectos P- Δ . Con las características de k_1 y k_2

que definen el comportamiento histerético del sistema de aislamiento se obtiene desplazamiento entre la base del aislador y la del edificio relativamente pequeños (menores de 2.5 cm), si los comparamos con los aisladores de gaucho que alcanzan 30 cm, esto se traduce en una ventaja adicional en cuanto a comodidad de los ocupantes del edificio durante un sismo intenso.

VI ANALISIS DE RESULTADOS, RESPUESTA ESTRUCTURAL Y COSTOS

6.1 DESPLAZAMIENTOS MAXIMOS EN EL MODELO DE CORTANTE Y EN EL MARCO CON VIGAS FLEXIBLES

Los desplazamientos que resultan de excitar los modelos de cortante con los acelerogramas escalados se comparan con los modelos de marco con vigas flexibles tanto con como sin aislador. En las Figs 6.1.1 - 6.1.13 (a y b) se muestran en forma gráfica los desplazamientos de entrepiso tanto para el modelo de viga de cortante como de marco. En las figuras se puede observar que los desplazamientos en el aislador son de magnitud relevante con relación a los de entrepiso en la superestructura. En los modelos de cortante se tiene que las deformaciones en la superestructura del edificio aislado resultan menores con respecto a las del edificio convencional, esto se comprueba a simple vista. Puede también observarse que dichas deformaciones resultan reducidas con mayor eficiencia en el caso del edificio ubicado en Acapulco, donde el desplazamiento global del edificio aislado resulta ser prácticamente el mismo del edificio convencional (el aislador absorbe la mayor parte de estos y la superestructura se desplaza como cuerpo rígido) . Gran parte del

desplazamiento que experimenta el edificio se efectúa a nivel del aislamiento siendo poco significativos los de la superestructura.

Los desplazamientos máximos relativos de la base del edificio aislado con respecto a la base de los aisladores son en promedio iguales a: 1.50 cm en Viveros, y de 1.55 cm en Acapulco, con coeficientes de variación de 0.28 y 0.25, respectivamente.

En los modelos de marco se tiene un comportamiento similar en cuanto a los de cortante, en los que se hace ver lo siguiente.

1. Los desplazamientos de entrepiso son mucho menores en el edificio aislado que en el edificio convencional tanto para el D. F., como para Acapulco, esto conlleva necesariamente a una reducción en cuanto a la deformación del edificio en la superestructura.

Los desplazamientos de entrepiso en el edificio aislado al considerar efectos $P-\Delta$ resultan prácticamente idénticos a los obtenidos en el edificio aislado en el que no se consideró el efecto $P-\Delta$. Esto se observa en las figuras que describen la envolvente de desplazamientos del modelo de marco (figs 6.1.1., 6.1.13), en donde las configuraciones que describen dichas envolventes resultan prácticamente paralelas en todos los casos.

2. El desplazamiento a nivel del aislador cuando se considera el efecto $P-\Delta$ resulta mayor en todos los casos en una sola dirección (+ ó -) y menor en la dirección contraria (- ó +) con respecto al edificio aislado en el que no se consideran efectos $P-\Delta$. Esto resulta porque el efecto $P-\Delta$ en el aislador se manifiesta con mayor significado en el intervalo inelástico, donde debido a las características de la segunda rama que tiene una baja pendiente al presentarse un incremento de esfuerzos se introduce un desplazamiento lateral significativo.

Los desplazamientos relativos de la base del edificio aislado (modelado dimensionalmente) con respecto a la base de los aisladores son en promedio iguales a 1.46 cm en Viveros, y de 1.24 cm en Acapulco, con coeficientes de variación de 0.23 y 0.25, respectivamente.

Cuando se toman en cuenta efectos P- Δ dichos desplazamientos crecen y son en promedio iguales a 2.78 cm en Viveros y de 2.13 cm en Acapulco, con coeficientes de variación de 0.57 y 0.93 respectivamente. Sin embargo para el sistema que aquí se estudia el efecto P- Δ es despreciable.

Podemos concluir que los desplazamientos en la base del edificio con relación a la base del aislador obtenidos a través del modelo simplificado de cortante son suficientemente aproximados (con una discrepancia del orden del 6 % para Viveros, D.F. y 20 % para Acapulco, Gro.) para realizar un prediseño de anteproyecto, en cuanto a la holgura que debe existir entre el cajón de cimentación y la superestructura; los desplazamientos de entrepiso a través del modelo de cortante también nos dan una buena aproximación a nivel de prediseño.

La razón por la cual en el sistema propuesto tenemos desplazamientos relativamente pequeños entre la base del edificio y la base del sistema de aislamiento con los obtenidos con otro tipo de aisladores como los de caucho es por la elevada rigidez con que cuenta en la primera rama (k_1) que define el comportamiento del sistema, que es aproximadamente cinco veces más grande (que la empleada en aisladores de caucho), además la fuerza de fluencia en nuestro sistema es del doble.

6.2 REDUCCION DE CORTANTE EN EL MODELO DE CORTANTE Y EN EL MARCO CON VIGAS FLEXIBLES (TRABES)

Los cortantes que resultan de excitar los modelos de viga de cortante con los acelerogramas escalados se comparan con los modelos de marco con y sin aislador. En las Figs 6.1.1 - 6.1.13 (c y d) se muestran en forma gráfica las envolventes de cortante de entrepiso tanto para el modelo de viga de cortante como de marco. En las figuras se puede observar el cortante que se presenta en el aislador en el nivel cero al -1.

En los modelos de cortante (figs 6.1.1 - 6.1.13 " c ") se puede observar que el cortante máximo en el aislador rebasa el valor de 200 toneladas (fuerza de fluencia del sistema de aislamiento) para todos los casos. Se tiene que en promedio el cortante requerido en el aislador es de 234.35 Ton en el D. F. y de 232.39 Ton en Acapulco. El aisladores independiente de las características de la excitación. En promedio las fuerzas sísmicas en los edificios aislados se reducen con respecto a los empotrados en un 47.4% en el D. F., y 66.7% en Acapulco. Resulta evidente que el aislamiento del edificio es más eficiente en Acapulco debido a que los períodos dominantes de la

excitación en este caso son más cortos que en el D. F. (Viveros) y al introducir el aislamiento aleja mucho más a la estructura de los periodos dominantes de la excitación. Para Viveros las ordenadas espectrales de la excitación correspondiente a $T = 0.67$ s se encuentran dentro del intervalo de ordenadas máximas, mientras que para Acapulco estas pertenecen a la rama descendente de los espectros de aceleración vs período.

Por lo que respecta a los modelos de marco se analiza la estructura en el plano (DRAIN ' 2D) de la estructura en el sentido longitudinal marco F fig 5.3.1 que conserva las mismas características dinámicas del edificio global. La fuerza de fluencia con que cuenta el marco a nivel del aislador resulta de 29.59 Tons y una masa asociada al marco de 14.30 % de la total (ver tabla 5.1.1 estimación de masas por nivel)

En términos generales el comportamiento de los modelos de marco en cuanto a la fuerza sísmica es cualitativamente como en el de los desplazamientos. En los modelos de marco (figs 6.1.1 - 6.1.13 "d") se advierte que el cortante en el aislador rebasa las 29.59 toneladas (fuerza de fluencia del sistema de aislamiento). Se tiene que en promedio el cortante en el aislador es de +34.02 y -33.51 Ton en Viveros, y de +33.00 y -32.26 Ton en Acapulco, los valores anteriores son sin considerar efectos P- Δ . Al tomar en cuenta estos, los cortantes que se obtienen son de +31.64 y -39.19 Ton, y de +36.50 y -31.66 Ton respectivamente. Por los resultados anteriores y observando las gráficas de cortante (figs 6.1.1. - 6.1.12 "d") el cortante en el sistema de aislamiento sin considerar efectos P- Δ resulta ligeramente menor en Acapulco, y en ambos sitios prácticamente simétrico el positivo y negativo. Al considerar el efecto P- Δ se pierde tal simetría, incrementándose el cortante negativo en 14.5% y reduciéndose el positivo en un 7.5% en Viveros, en cuanto a Acapulco se incrementa el positivo en 9.5% y el negativo se reduce en 1.9%.

Con respecto a las fuerzas sísmicas en el edificio aislado modelado

como marcos con trabales flexibles se reducen con respecto al convencional en promedio un 39.29% en el D. F. y un 50.26% en Viveros en Viveros y Acapulco respectivamente. En cuanto el efecto P- Δ se puede observar en las figuras (c) que prácticamente no tiene ningún efecto la influencia tanto en los resultados asociados al D. F. como a Acapulco.

Con base en los resultados anteriores podemos concluir que la reducción de la fuerza sísmica en edificios aislados que son representados mediante modelos de cortante, sobreestiman en forma significativa tal reducción.

En edificios con sistemas aisladores que presenten efectos P- Δ no se incrementa el cortante en la superestructura por tal efecto y a nivel del aislador sí presenta incremento o decrementos que deberán ser tomados en cuenta para el buen funcionamiento de la estructura e incluso deberán tomarse medidas que puedan provocar una inestabilidad a nivel del aislador.

El sistema que aquí se analiza resulta ventajoso por la eficiencia en reducir las fuerzas sísmicas además de presentar pequeños desplazamientos entre la base del edificio y la del sistema de aislamiento.

6.3. ANALISIS DE COSTOS DE LOS EDIFICIOS CON Y SIN AISLADORES

El sistema de aislamiento que se propone incluir en edificios se ha visto que mejora significativamente su comportamiento estructural ante excitación sísmica (en determinados sitios así como en determinadas estructuras) logrando estructuras *sismo-resistentes*. Por otro lado es imprescindible para la implementación de estos sistemas una evaluación de los costos, así como una valorización de la inversión. En este caso un Análisis de *costo-beneficio* es una forma de presentación de los factores que deben tomarse en cuenta para ver si conviene o no la implementación del sistema propuesto desde el punto de vista de inversión. Una formulación general del análisis de costo-beneficio consiste en la maximización del valor presente de todos los beneficios menos todos los costos durante la vida útil de la estructura.

Los beneficios así como su valoración están directamente relacionados con el tipo de estructura que se trate, por ejemplo como puede ser el caso en edificaciones de infraestructura en las que se podría implementar el sistema, como puede ser el caso de Plantas Nucleares, Centrales Telefónicas o Puentes en los que los beneficios serán de diferente magnitud a los de edificios industriales, oficinas, escuelas

o vivienda. Dentro de algunos beneficios que se pueden mencionar tenemos :

Una reducción en el costo social del riesgo de que la estructura falle en un evento sísmico.

Una reducción de las pérdidas económicas por el colapso de la estructura, así como la suspensión temporal de la actividad que se lleva a cabo en la edificación y las implicaciones que afecten a otras actividades productivas por su relación directa o indirecta.

Una reducción de pérdidas económicas que conlleva la pérdida de la vida humana, entendiéndose como los ingresos que la persona o personas pudieran obtener para el futuro.

En el presente trabajo se considera solo una estimación de los costos iniciales de inversión para lograr la implementación del sistema aislador-disipador en estructuras que se comparan con los de una estructura convencional.

En las tablas 7.1 y 7.2 se comparan los costos directos de estructuras con y sin sistema aislador-disipador correspondientes a Viveros, D.F. y a Acapulco Gro. respectivamente. En la cuales se considera en primer lugar los costos solo de los elementos estructurales que se ven afectados por el sistema propuesto que corresponden a traveses y columnas en la superestructura (la losa no se considera en este grupo), en segundo término el costo del sistema aislador-disipador así como la estructura adicional (columnas, vigas y dados) que requiere el sistema de aislamiento y además las instalaciones adicionales, y finalmente se presenta la estimación del costo global del edificio convencional y del edificio con sistema de aislamiento y disipación.

Tabla 7.1 Costos del edificio con y sin sistema aislador-disipador (A-D) en dólares. Caso I Viveros, D.F.

Concepto		Sin sistema (A-D)	Con sistema (A-D)
Columnas	Acero long.	\$ 8 830. US dlls	\$ 7 912.
	Acero trans.	11 103.	11 103.
	Concreto	28 066.	28 379.
Trabes	Acero long.	23 018.	23 018.
	Acero trans.	21 018.	21 018.
	Concreto	40 360.	40 360.
Subtotal (Costo Directo)		132 395.	131 790.
Aisladores			14 260.
Disipadores			18 420.
Estructura adicional			60 797.
Instalaciones adicionales			6 522.
Subtotal (Costo Directo)			99 999.
COSTO TOTAL ESTIMADO DEL EDIFICIO		1'666 683.	1'766 079.

Tabla 7.2 Costos del edificio con y sin sistema aislador-disipador (A-D) en dólares. Caso II Acapulco, Gro.

Concepto		Sin sistema (A-D)	Con sistema (A-D)
Columnas	Acero long.	\$ 17 136. US dlls.	\$ 8 832.
	Acero trans.	20 860.	20 860.
	Concreto	28 043.	28 172.
Trabes	Acero long.	30 490.	26 778.
	Acero trans.	21 021.	21 021.
	Concreto	40 209.	40 145.
Subtotal (Costo Directo)		157 759.	145 808.
Aisladores			14 260.
Disipadores			18 420.
Estructura adicional			60 797.
Instalaciones adicionales			6 522.
Subtotal (Costo Directo)			99 999.
COSTO TOTAL ESTIMADO DEL EDIFICIO		1'793 508.	1'881 699.

De las tablas anteriores se obtiene :

Un ahorro con relación a columnas y traveses se obtiene insignificante en el caso de Viveros, D.F. . En Acapulco el ahorro es de 7.56 % , esto se debe a que el diseño sin el sistema de aislamiento lo rige la combinación de carga muerta más viva en el primer caso, en Acapulco lo rige la combinación de carga muerta más viva, más sismo . De manera que al implementar el aislamiento se reducen las fuerzas sísmicas, pero en Viveros esta condición de carga no interviene para el diseño mientras que en Acapulco sí se toma en cuenta dicha reducción.

Los costos del sistema aislador-disipador, la estructura adicional, así como las instalaciones representan un incremento en el costo global del edificio de 5.96 % en Viveros, D.F., mientras que en Acapulco resulta de un 4.91 % . Se hace la observación de que los porcentajes antes mencionados son aplicables a edificios sin lujos, como los estudiados aquí (escuela pública). Sin embargo para edificaciones con mayor valor (en equipo, instalaciones, acabados, etc.) el porcentaje del valor del sistema aislador-disipador con respecto al costo total resulta aún más bajo.

VII CONCLUSIONES

El sistema que se propone de aisladores-disipadores constituye una promisoriosa solución para lograr edificios *Sismo-Resistentes* con períodos de vibración intermedios ubicados sobre terrenos con períodos dominantes bajos. Si dichos edificios se ubican sobre terreno con períodos intermedios la solución resulta menos eficientes. Lo anterior se comprueba en este estudio a través de los resultados de dos edificios con sistema aislador-disipador ubicados en la zona de transición de la Ciudad de México y en la zona dura de Acapulco, Gro. El segundo caso resulta de mayor eficiencia tanto en comportamiento estructural durante la excitación sísmica como en costo, sin embargo la solución en la Ciudad de México resulta aceptable.

Se concluye que en promedio los cortantes de diseño en los edificios aislados se reducen con respecto a los convencionales en un 39.29 % en la Ciudad de México y un 50.26 % en Acapulco Gro. La reducción de la fuerza sísmica en edificios aislados que son modelados de viga de cortante sobrestiman tal reducción en un 8.2 % en el D.F. y 16.44 % en Acapulco. Tal sobrestimación se debe en primer lugar a que el período del modelo de cortante es menor tal que localiza a la

estructura en ordenadas espectrales mayores, en segundo término el modelo de cortante concentra la fuerza sísmica en los niveles con mayor masa de tal manera que en este caso es la planta baja que corresponde al entrepiso donde se ubica el aislador.

En promedio los desplazamientos máximos relativos a la base del edificio aislado con respecto a la base de los aisladores son iguales a 1.46 cm en la Ciudad de México y de 1.24 cm en Acapulco, Gro. Los desplazamientos que se obtienen a través del modelo simplificado de cortante presentan discrepancias del orden del 6 % y 20 % respectivamente. Esta discrepancia se debe a que el modelo de cortante se considera infinitamente elástico en la superestructura mientras el modelo de marco la superestructura se considera inelástica en la que se presenta mayor disipación de energía por algunas vigas que entran en el rango inelástico durante la excitación.

El sistema propuesto presenta ventajas de comodidad durante un sismo intenso al desarrollar desplazamientos relativamente pequeños entre la base del edificio y la base del sistema de aislamiento si se comparan por ejemplo, con los que proporcionarían los aisladores de caucho que son los de mayor auge en el mundo.

Los modelos de viga de cortante en términos generales arrojan resultados lo suficientemente aproximados para ser utilizados a nivel de prediseño de la estructura, que deberán refinarse con modelos más detallados para obtener el diseño final.

Del análisis económico se concluye que el porcentaje del sobre costo de edificios con sistema aislador-disipador con respecto a un edificio convencional es mayor de un 5% en la ciudad de México y mayor de un 6% en Acapulco. Por todo lo anterior resulta promisorio el uso del sistema aislador-disipador en la ingeniería sísmica en algunas zonas de México.

VIII RECONOCIMIENTOS

Mi agradecimiento a Sonia E Ruiz Gómez no sólo por la valiosa dirección de este trabajo, sino por su apoyo y confianza, a Manuel Aguirre Gándara por sus comentarios sobre el funcionamiento de los óvalos disipadores y su aportación del apéndice A, a Ricardo González por sus comentarios y su participación en las pruebas de vibración ambiental, a las autoridades de la Escuela Secundaria No.168 por haber permitido realizar dichas pruebas, a Agustín Escobar por haber proporcionado los planos arquitectónicos, a Armando Nieto Espino por su colaboración en la primera parte del Proyecto. A la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería e Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México por contribuir a mi formación.

El presente estudio fue patrocinado por la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) de la UNAM, dentro del Proyecto IN306791.

REFERENCIAS

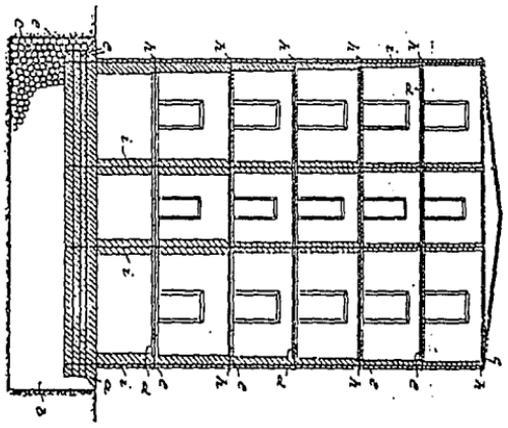
- [1]. Higashino Masahiko, "The application of base isolation and structural control system in Takenaka", Memorias del Seminario Internacional sobre Instrumentación Sísmica y uso de Elementos Disipadores de Energía en el comportamiento Estructural, pp. 249-271, México, 1990.
- [2]. James C. H. Chang, "Structural Control Using Active Tuned Mass Damper", Journal of The Engineering Mechanics Division, pp. 1091-1099, Diciembre 1980, EM6.
- [3]. Rigoberto López C, "Análisis Paramétrico de Edificios con Control Pasivo de Masas Sujetos a excitación Sísmica", Tesis Escuela Militar de Ingenieros, México, 1991.
- [4]. T. F. Zahrah and W. J., "Hall Seismic Energy Absortion in Simple Structures", Technical Report of Research Department of Civil Engineering, University of Illinois, July 1982.
- [5]. Allen J. Clark, "Multiples Passive Tuned Mass Dampers, for Reducing Earthquake Induced Building Motion", Ninth World Conference on Earthquake Engineering, Tokyo-Kyoto, JAPAN, Vol. V, pp. 779-784, 1988.
- [6]. Blakely, R. W. G., "Prestressed Concrete Bridges Incorporating Mechanica Energy Dissipating Divices For Earthquake Resistance" Eight Congress of Federation Internationale de la trainte, London, 30 April, Mayo 1978.
- [7]. Kelly J. M., Skinner, R. I., and Heine, A. J., "Mechanisms of Energy Absortion in Special Devices for Use in Earthquake Resistan Structures", Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, Vol. 5, No. 3, pp. 63-88, 1972.
- [8]. Aguirre M., "Dispositivo para Controlar Hundimientos de Estructuras Piloteadas", Series del Instituto de Ingeniería, UNAM, No. 439, México, 1981.
- [9]. Aguirre M. y Sánchez R., "Pruebas de Elementos Disipadores de Energía Sísmica", Construcción y Tecnología, IMCYC, pp. 7-18, Marzo 1989.
- [10] Aguirre M. y Sánchez R., "Disipadores de Energía Sísmica", Construcción y Tecnología, IMCYC, pp. 15-19, Agosto 1990.

- [11]. Aguirre M. y Sánchez R., "Pruebas Complementarias de Elementos Disipadores de Energía Sísmica", Instituto de Ingeniería, UNAM, Proy No. 8152, Noviembre 1989.
- [12]. Mineo Takayama, Akira Wada and Akiyama, "Feasibility study on Base-Isolated Building", Proceeding of Ninth World Conference on Earthquake Engineering, Tokyo-Kyoto, Japan Vol. V. pp. 669-674, Agosto 1988.
- [13]. Bechtold Jacob, "Earthquake-proof building" U.S. Patent No. 845-040, 1907.
- [14]. Wright, F. L., "An Autobiography, Frank Lloyd Wright", Horizon Press, New York, 1977.
- [15]. de Montalk, Robert Wladislas "Shoch absorbing or minimizing means for buldings", patente de U.S.A., No.1,847, 820, 1932.
- [16]. Green, N. B., "Flexible First-Storey Construction for Earthquake resistance" Transactions, A.S.C.E., Vol. 100, Papet 1906, pp. 644-674,, 1935.
- [17]. Martel, R. R., "The effects of earthquake on buldings with a flexible first sotrey", Bull. of Seism Soc. of Am., Vol. 19, No. 3, pp. 167-178, 1929.
- [18]. Ruiz E. Sonia, "Influencia de Aislados y Pisos Bajo Blando en la Respuesta Sísmica de Edificios", Simposio Nacional de Ingeniería Sísmica, SMIS, Iztapa, Zihuatanejo, México, 1986 .
- [19]. Pall, A. S. y Marsh, C., "Seismic response of friction damped braced frames", J of Structural Div., A.S.C.E., Vol. 108, ST6, Junio, pp. 1313-1323, 1982.
- [20]. Kelly, J. M. y Bencle, K. E., "A friction damped base isolation system with fail-safe characteristics", Earth. Eng. and Struct. Dyn., Vol. 11, pp. 33-56, 1979.
- [21]. Key, D. E., "The seismic performance of energy absorbing dampers in bulding structures", Bull of the New Zealand Soc. for Earth. Eng., Vol. 17, No. 1, 1984.
- [22]. Mahmoodi, P., "Structural dampers", J. of Structural Div., A.S.C.E., Vol. 95, No. ST8, Agosto, 1969.
- [23]. J. M. Kelly and M. S. Skiner, "The Design of steel Energy Absorbing Restrainers and Their Incorporation into Nuclear Power Plants for Enhanced Safety", College of Engineering University of California, Report No. UCB/ERC-79/10, Vol. 4, Febrero 1979.
- [24]. Li Guiging and Zou Zujun, "Stochastic Vibration Control of tall Building", Ninth World Conference on Earthquake Engineering, Vol. V, pp. 853-858, Tokyo, Japan, 1988.

- [25]. Masahiko Higashino, "The application of base isolation and structural control system in Takenaka", Seminario Internacional Instrumentación Sísmica y uso de elementos disipadores de energía en el comportamiento de estructuras", pp. 249-270, Oct, 1990.
- [26]. I. G. Buckle, and Ronald L. M. "Sismic Isolation: History, Application and Performance - A world View", Earthquake Spectra, Vol. 6, Number 2, May 1990.
- [27]. A. Nieto Espino, "Análisis Dinámico de una Estructura sobre Aisladores Sísmicos", Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, U.N.A.M., 1992.
- [28]. González Flores M., "Experiencias realizadas para llevar a la práctica el sistema de eliminar los esfuerzos peligrosos de los temblores", V Congreso Mexicano de la Industria de la Construcción, Ponencia 29, pp. 315-352, Tijuana 1964.
- [29]. Reglamento de Construcción para el Distrito Federal, Diario Oficial, 3 de Julio 1987, México D.F.
- [30]. Reglamento de Construcción para el Estado de Guerrero, Informe de Investigación, Instituto de Ingeniería, UNAM, 1991.
- [31]. A.E. Kanaan and G.H. Powell " Program for Inelastic Dynamic Response of Plane Structures ", Research report EECR-No 73-22 Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Oct. 1973.
- [32]. A. Sosa-García, Sonia E Ruiz, R. González-Alcorta y A. Nieto, "Comportamiento de estructuras con aislamiento sísmico", IX Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica y VIII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Manzanillo, Colima, Vol 1, pp. 4-41 a 4-51, Noviembre 1991.
- [33]. Sonia E Ruiz, A. Sosa-García and R. González-Alcorta, "Comparative study of isolated structures", Ten World Conference on Earthquake Engineering, Madrid, Spain, July 1992.
- [34]. A. Sosa-García y Sonia E. Ruiz, "Análisis estructural y de costos de edificios con aisladores sísmicos", Revista de Ingeniería Sísmica, México, 1992.

STRUCTURES, Copy as received from Patent Office
 2901109, Feb. 13, 1970, 277 / 7
 430103, Oct. 21, 1890,
 LAWRENCE, 291, 072, Nov. 5, 1953, / . . . X

No. 315,018
 J. BECHTOLD.
 PATENTED FEB. 21, 1907.
 ANTIROUAC PROOF BUILDING.
 OFFICIAL PATENT FILED MAY 11 1906
 FIRST-CLASS



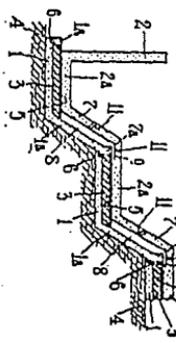
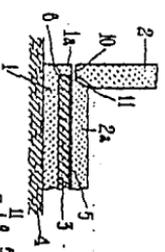
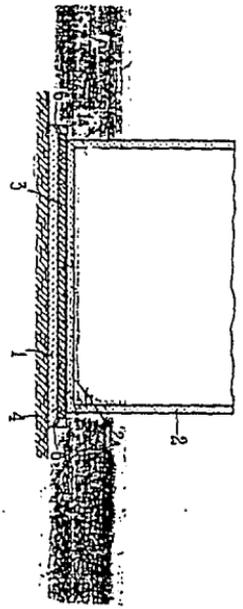
Erfindung:
 E. Bechtold
 7/1. R. Bechtold
 7/1. R. Bechtold
 7/1. R. Bechtold
 7/1. R. Bechtold

(a) Patente de Jacob Bechtold

March 1, 1932.

R. W. DE MONTALK
 SPEC. ASSOCIATE OR ASSISTANT CLERK FOR BUILDINGS
 Filed June 10, 1933

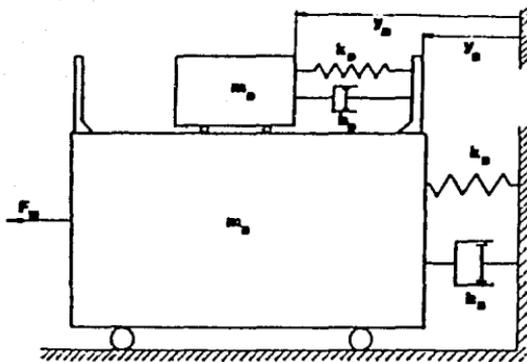
1,947,420



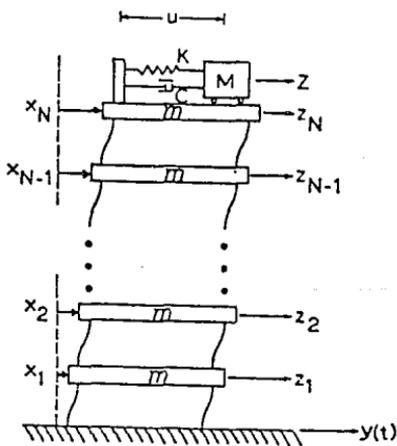
R. W. De Montalk
 1/1. R. W. De Montalk
 1/1. R. W. De Montalk
 1/1. R. W. De Montalk

(a) Patente de R. W. demontalk

Fig 1.1 Primeros Proyectos de bases aisladas



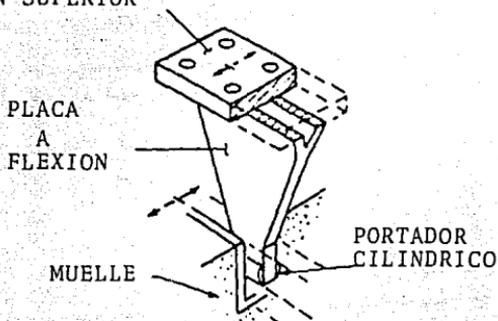
a). _ Sistema de un grado de libertad provisto de un oscilador resonante



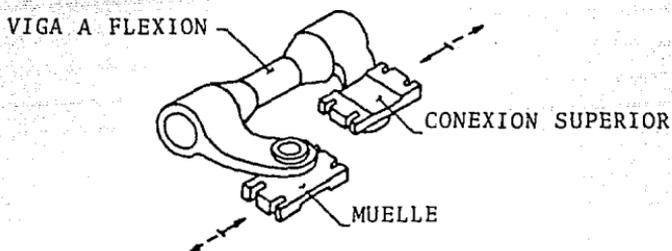
b). _ Sistema de varios grados de libertad provisto de un oscilador resonante

FIG. 2.1 MODELOS DE OSCILADORES DE MASAS RESONANTES PARA REDUCIR LA RESPUESTA ANTE EXCITACION SISMICA

CONEXION SUPERIOR

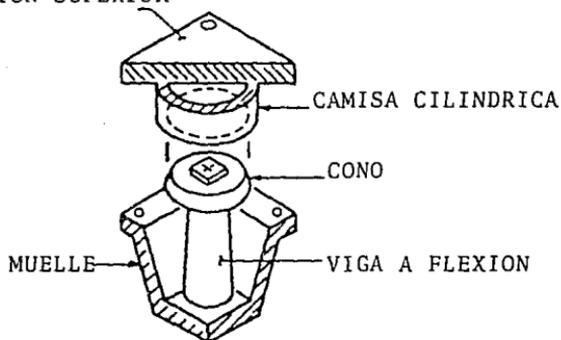


(a) Placa a flexión en una dirección



(b) Viga en doble cantiliver se deforma en una dirección

CONEXION SUPERIOR



(c) Viga en simple cantiliver se deforma en cualquier dirección

Fig 2.2 Dispositivos de disipación de energía a través de deformación plástica por flexión

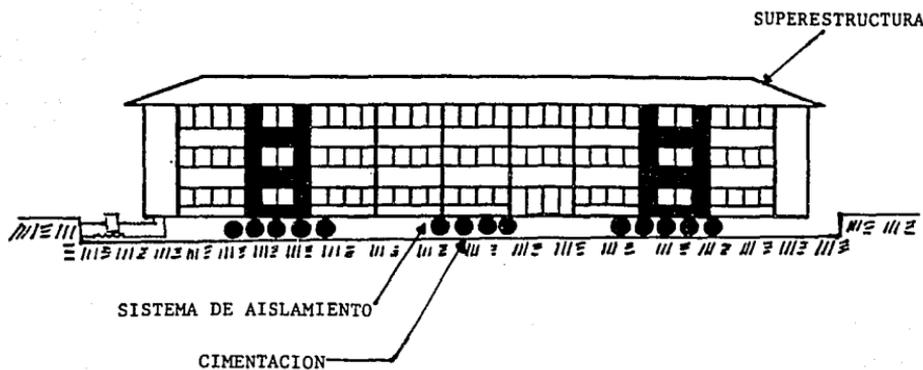


Fig 2.3.1 Aislador Sísmico

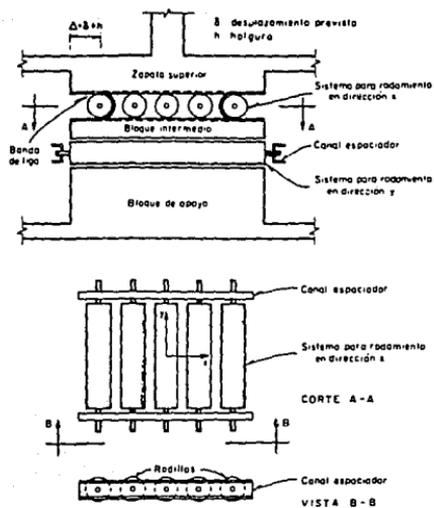


Fig 2.3.2 Aislador Rodante

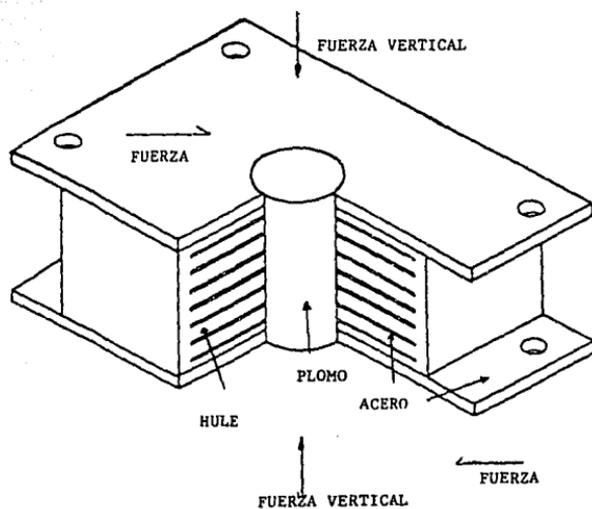


Fig 2.3.3 Aislador

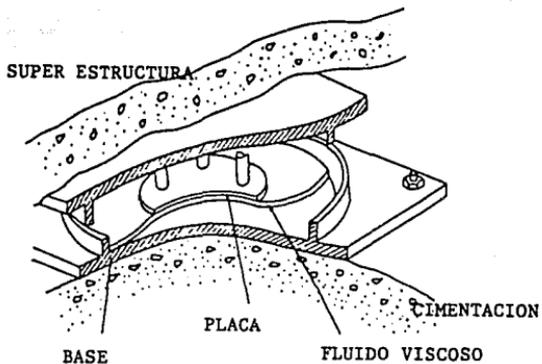


Fig 2.3.6 Aislador Viscoso

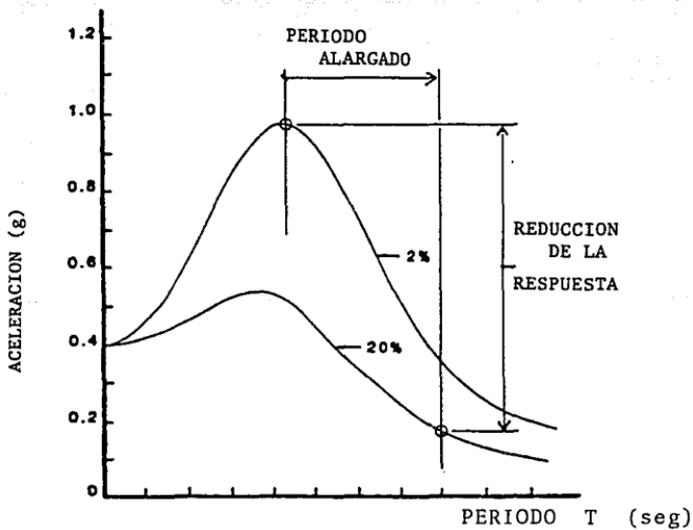
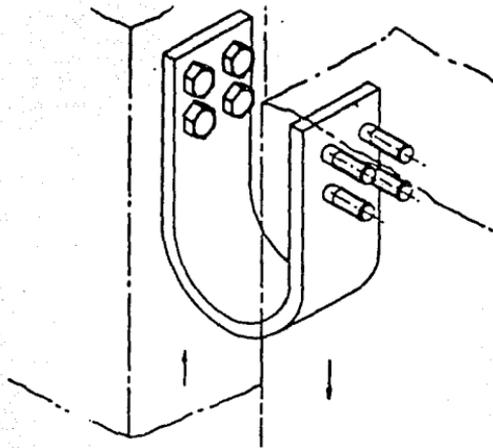
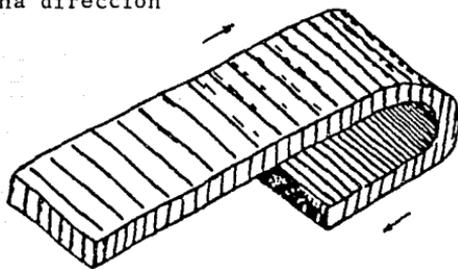


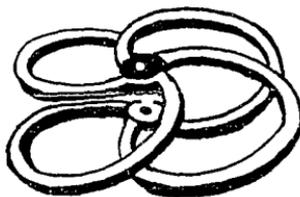
Fig 2.3.7 Reducción de la aceleración al incrementar el período y el amortiguamiento.



(a) U, Actúa en una dirección

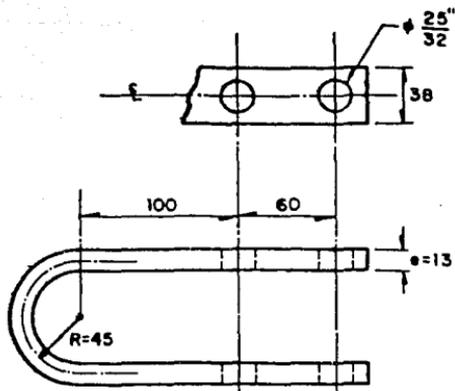


(b) J, Actúa en una dirección



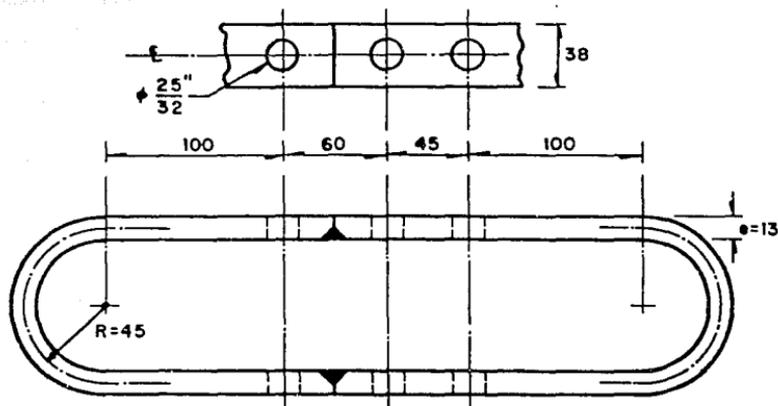
(c) Espiral, actúa en cualquier dirección

Fig 2.4 Disipador de energía histerética a través de rolado por flexión.



Acotaciones, en mm

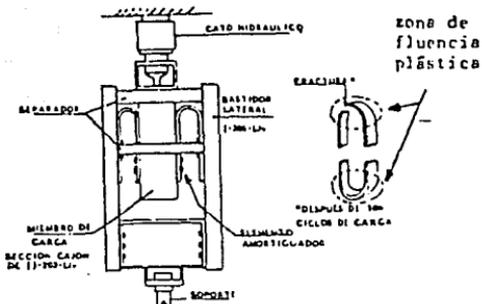
(a) Elemento "U"



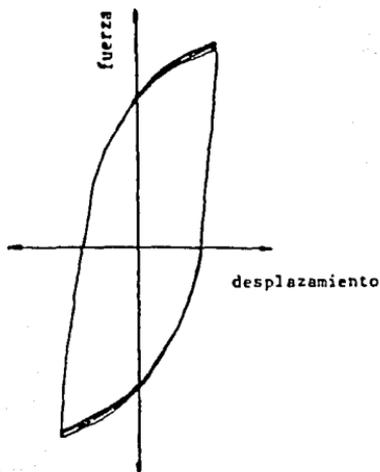
Acotaciones, en mm

(b) Elemento óvalo

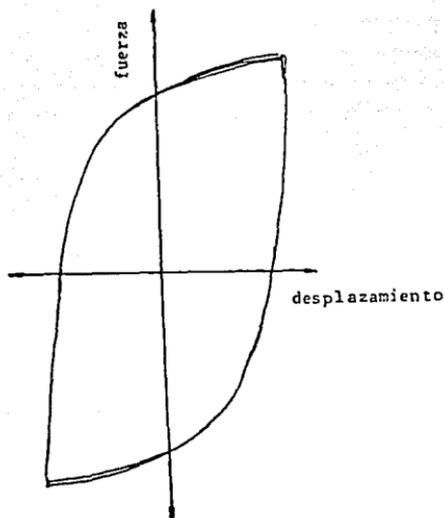
Fig 2.5 Dimensiones del Dispositivo en forma de U y óvalo.



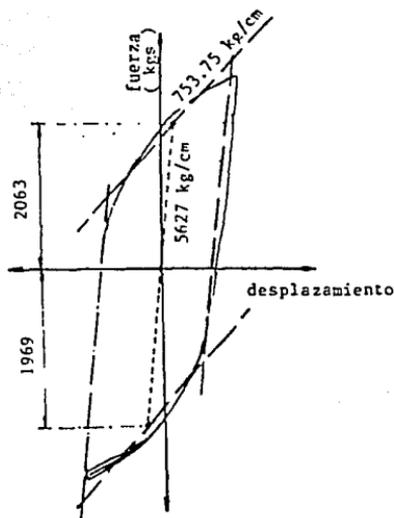
(a) Prototipo



(b) Ciclo histérico experimental
a 15 mm de amplitud



(c) Ciclo histérico experimental
a 25 mm de amplitud



(d) Modelo Bilineal

Fig 2.6 Prototipo de disipador elasto-plastico ensayado en el Instituto de Ingenieria de la UNAM.

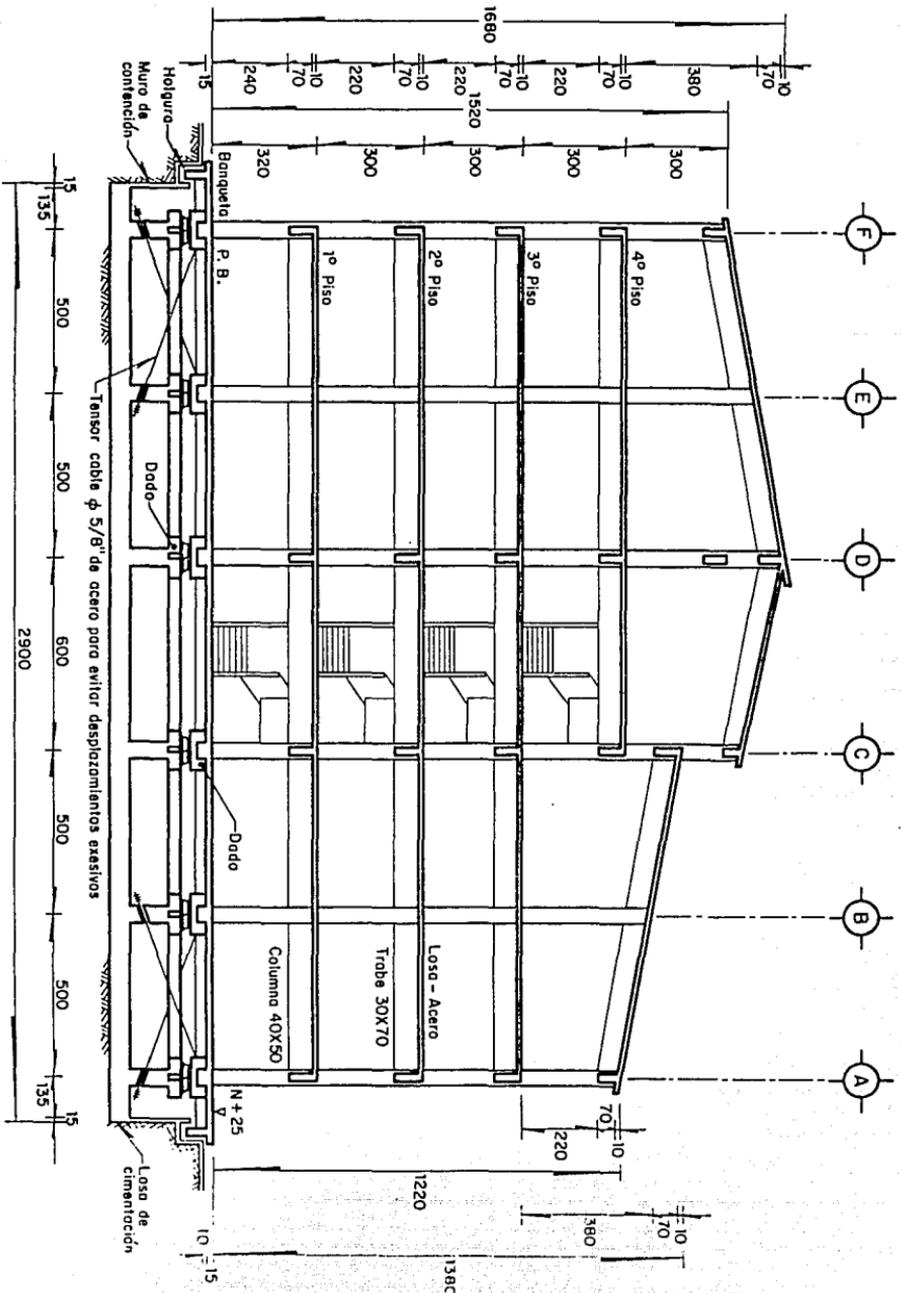


Fig 3.2.1 Corte transversal

Acolaciones, en cm

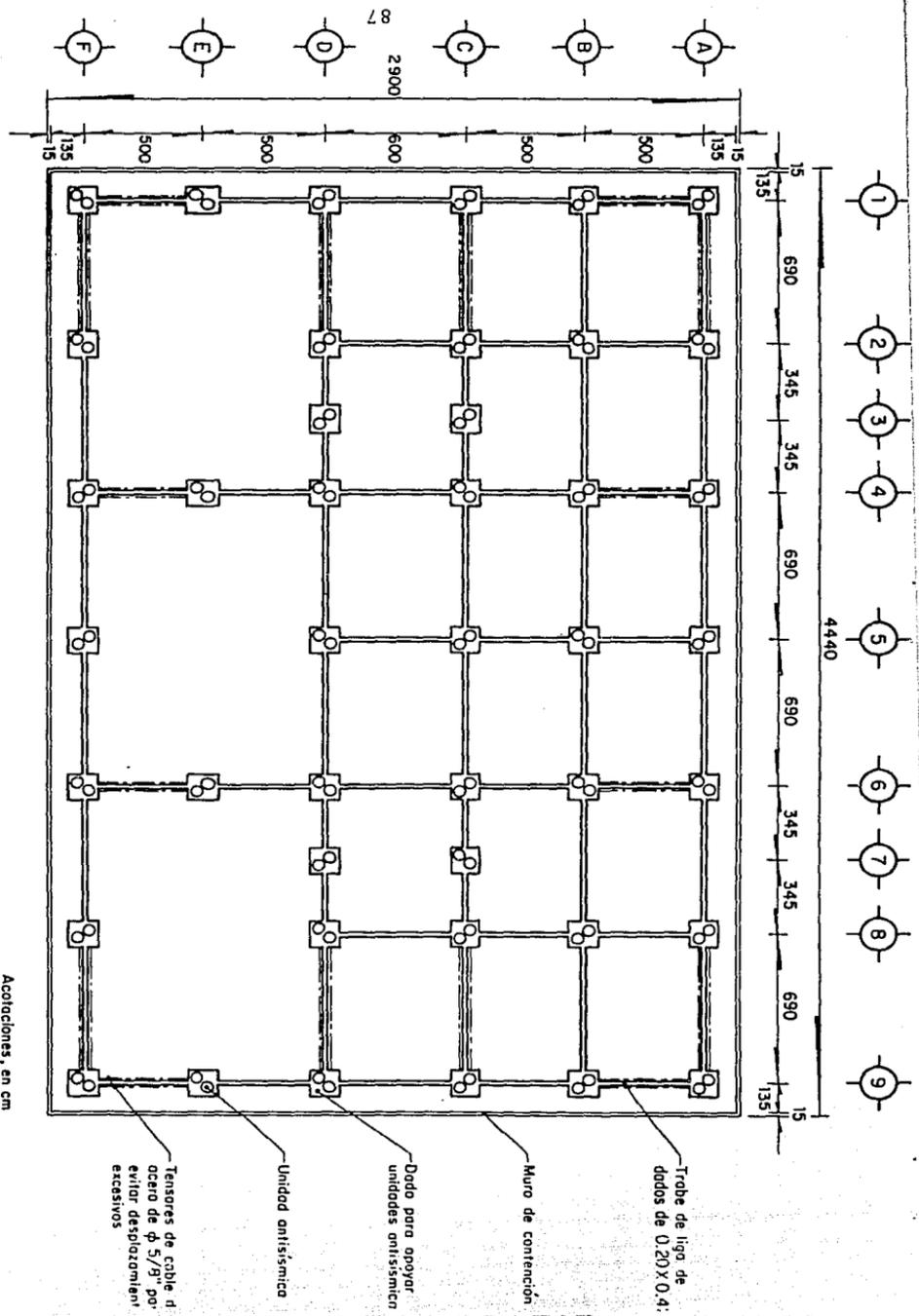


Fig 3.2.2 Planta de cimentación

Acotaciones, en cm

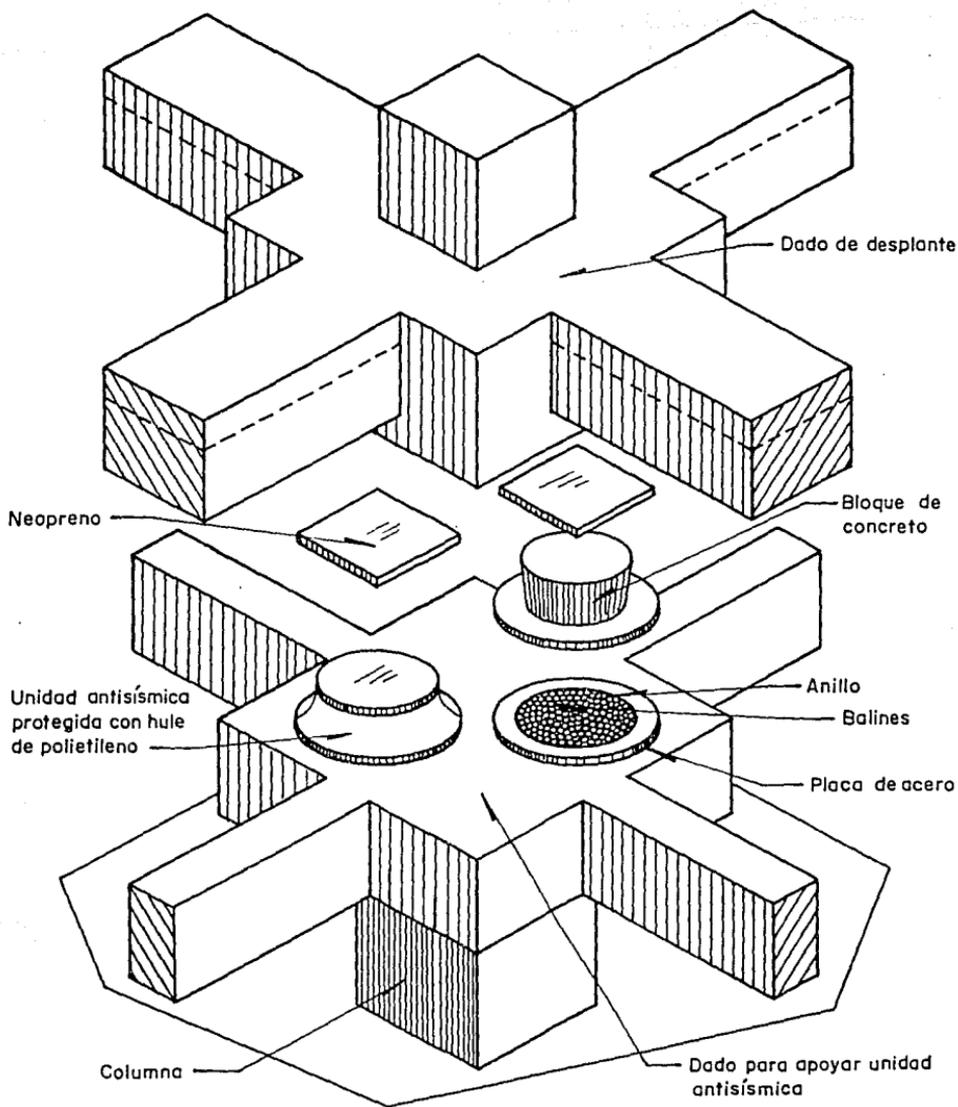


Fig 3.2.3 Aislador

Primer modo

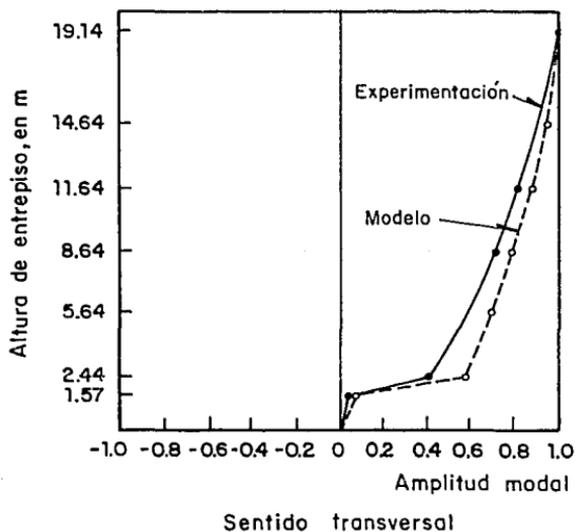
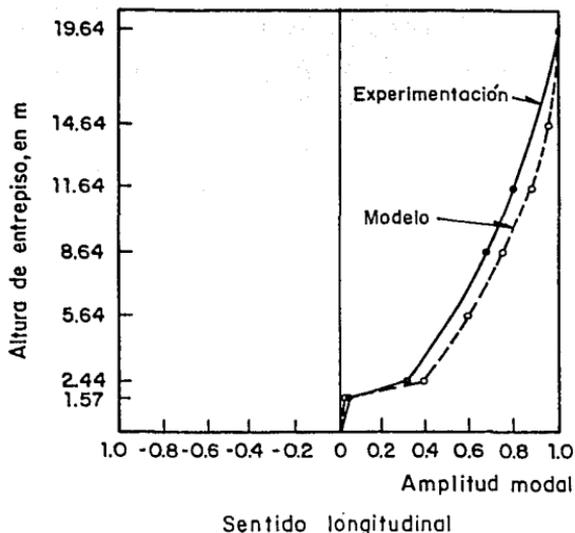


Fig 3.3.1 Primeras dos formas modales del edificio aislado.

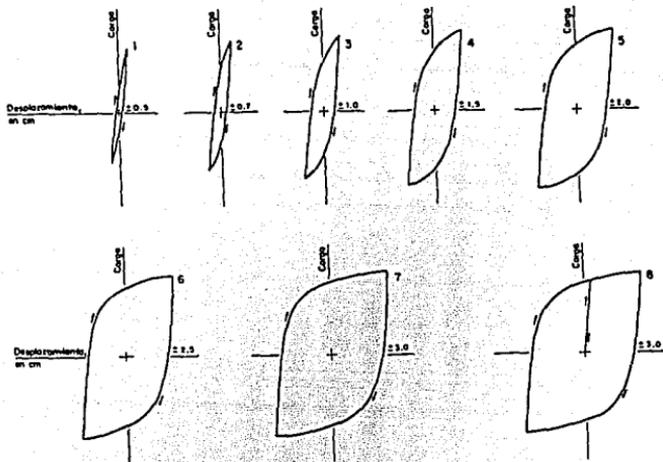


Fig 3.3.2 (a) Anillo hysterético para diferentes amplitudes

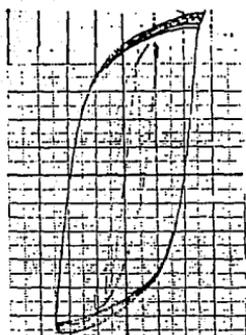


Fig 3.3.2 (b) Prueba directa de laboratorio

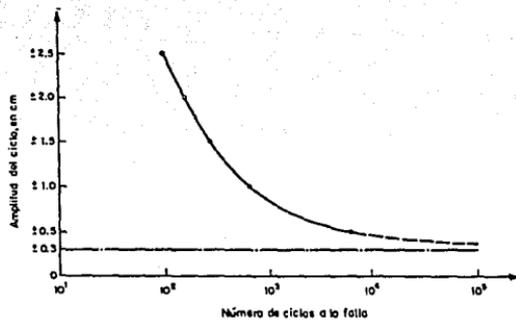
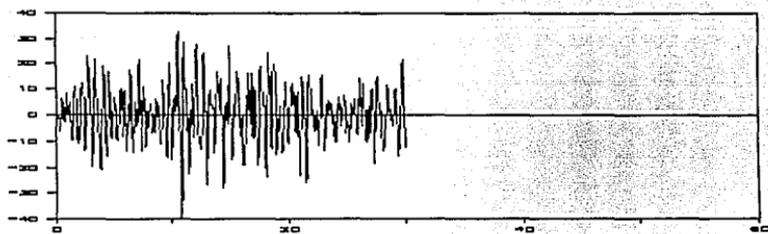
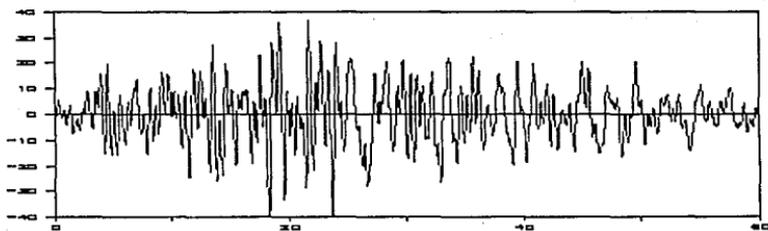


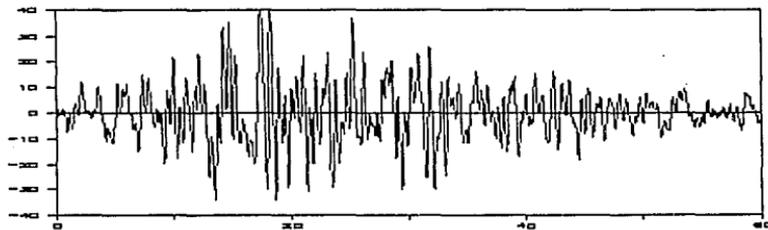
Fig 3.3.3 Curva de fatiga de disipadores de energía



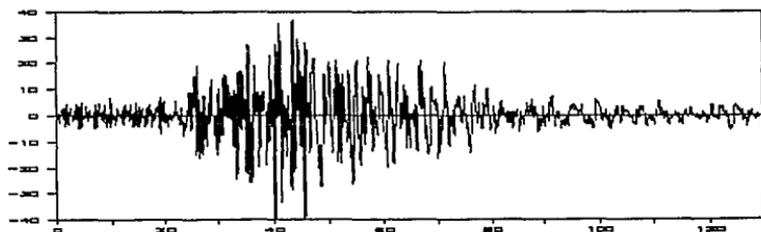
(a) Sismo No. 1



(b) Sismo No. 2

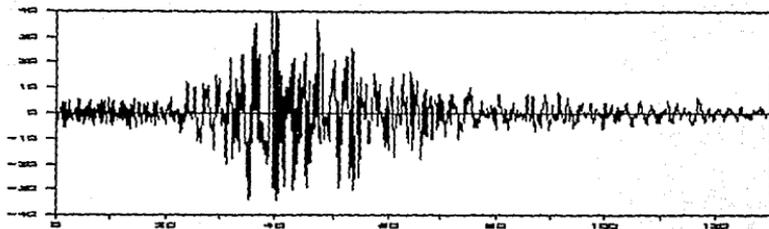


(c) Sismo No. 3

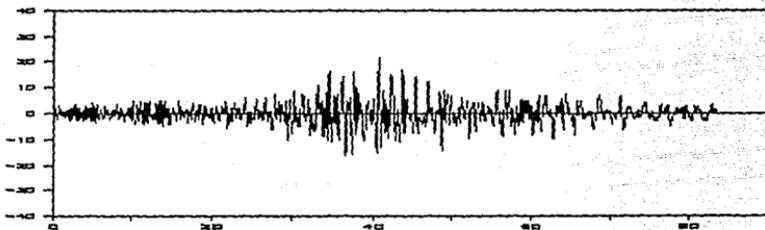


(d) Sismo No. 4

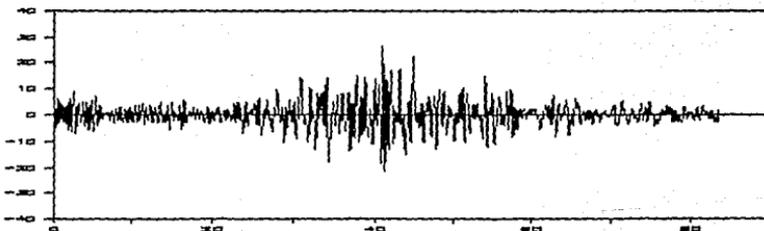
Fig 4.1 Acelerogramas de Viveros, D.F. en cm^2/seg



(e) Sismo No. 5

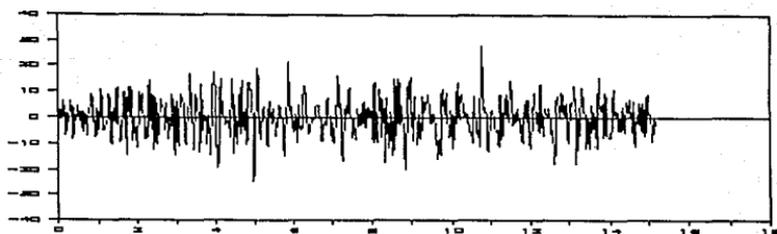


(f) Sismo No. 6

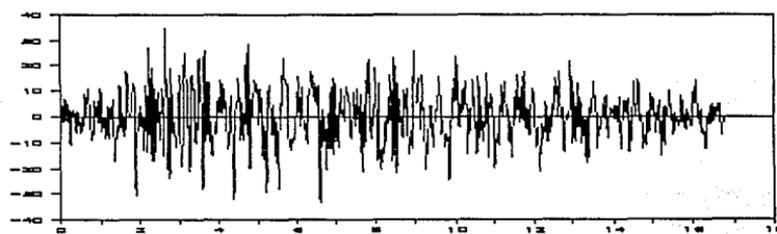


(g) Sismo No. 7

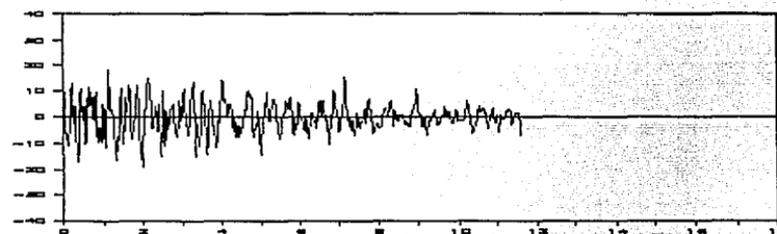
Fig 4.1 Acelerogramas de Viveros, D.F. en cm^2/seg



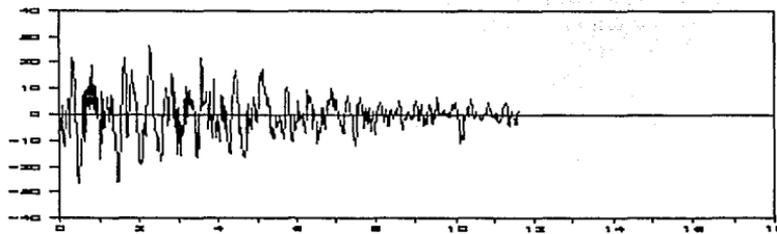
(a) Sismo No. 1



(b) Sismo No. 2

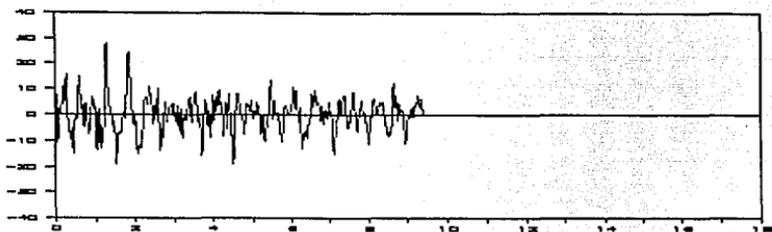


(c) Sismo No. 3

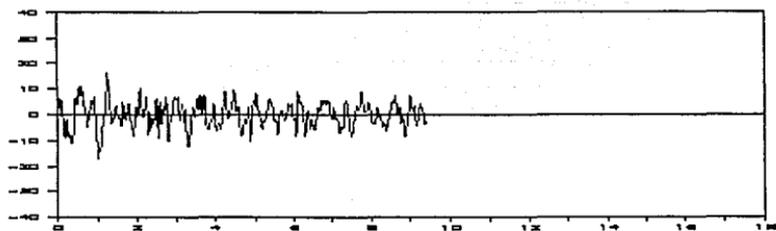


(d) Sismo No. 4

Fig 4.2 Acelerogramas de Acapulco, Gro. en cm^2/seg continúa



(e) Sismo No. 5



(f) Sismo No. 6

Fig 4.2 Acelerogramas de Acapulco, Gro. en cm^2/seg

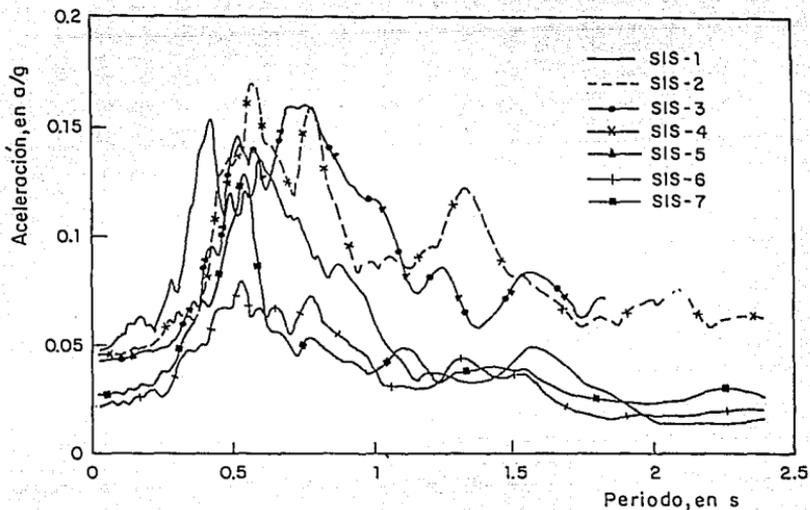


Fig. 4.3 Espectros elásticos de acelerogramas registrados en la estación Viveros, $\zeta = 5\%$

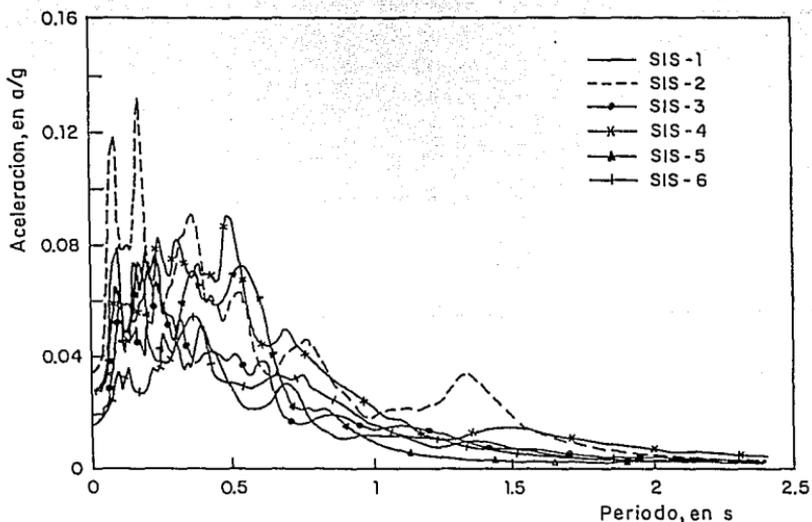


Fig 4.4 Espectros elásticos de acelerogramas registrados en Acapulco Gro, $\zeta = 5\%$

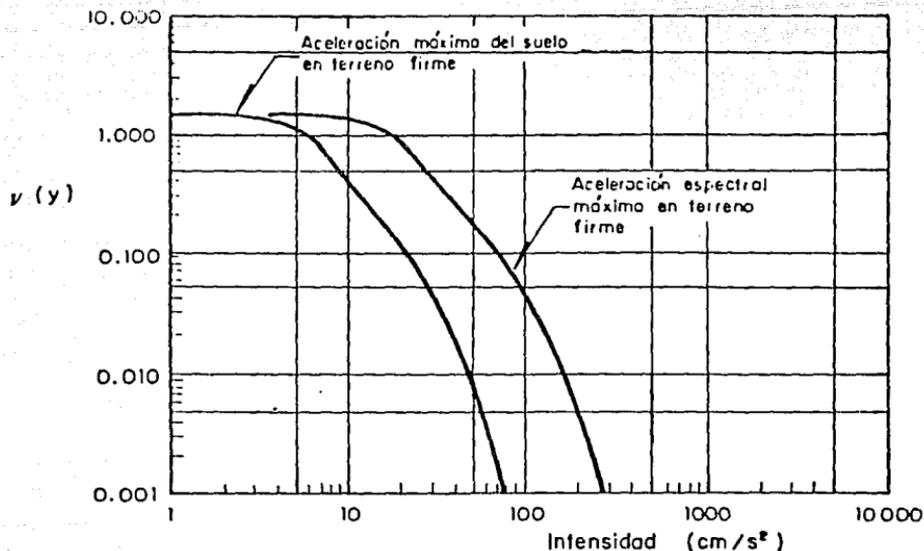


Fig 4.5 Curva intensidad - recurrencia para terreno firme en el D. F.

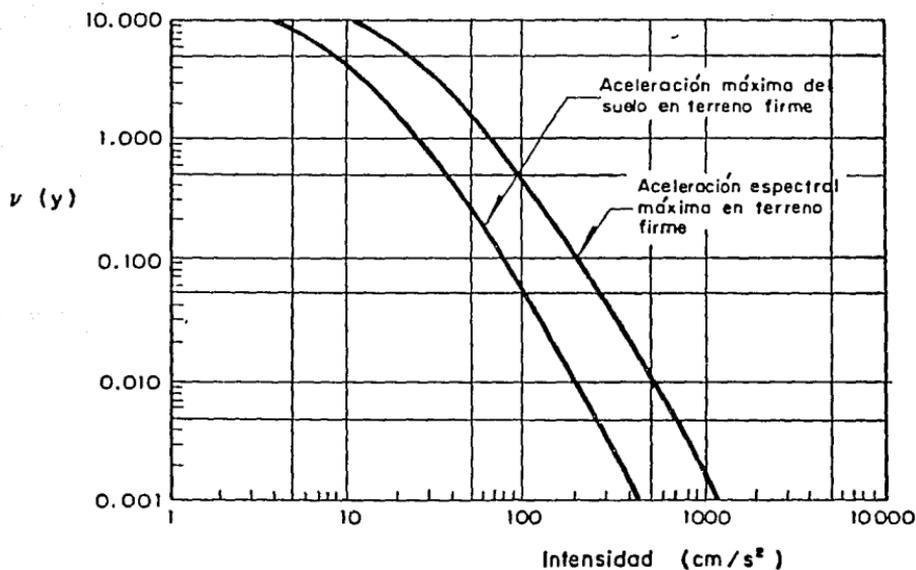
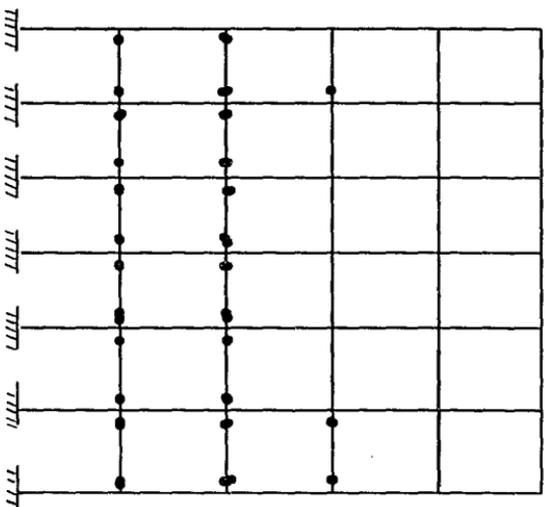


Fig 4.6 Curva intensidad - recurrencia para terreno firme en Acapulco

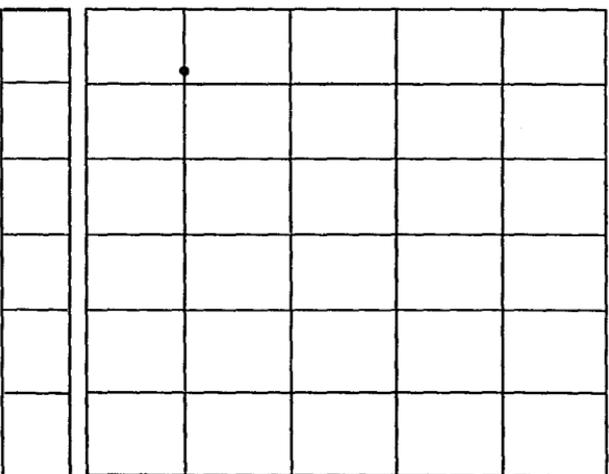
VIVEROS

EMPOTRADA



T = 0.44 seg

AI SLADA

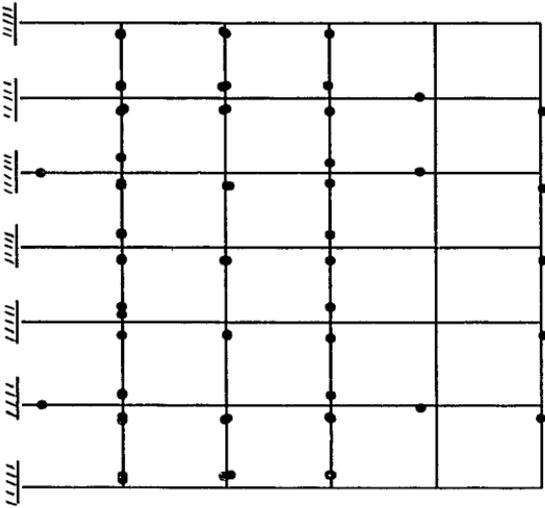


T = 0.72 seg

Fig 5.3.1 (I) Formación de Articulaciones plásticas (●)

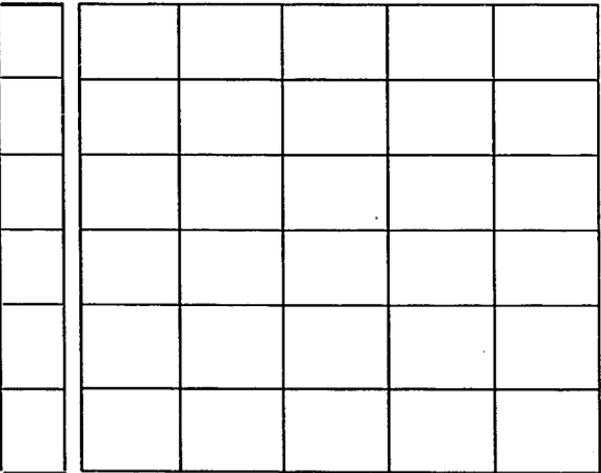
ACAPULCO

EMPOTRADA



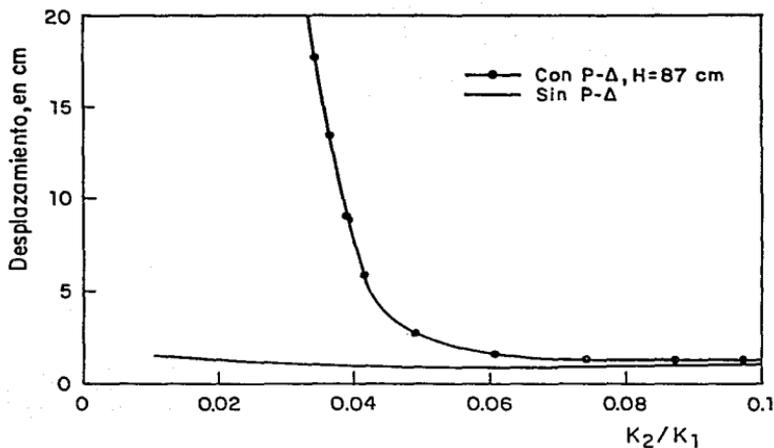
$T = 0.44 \text{ seg}$

ASLADA



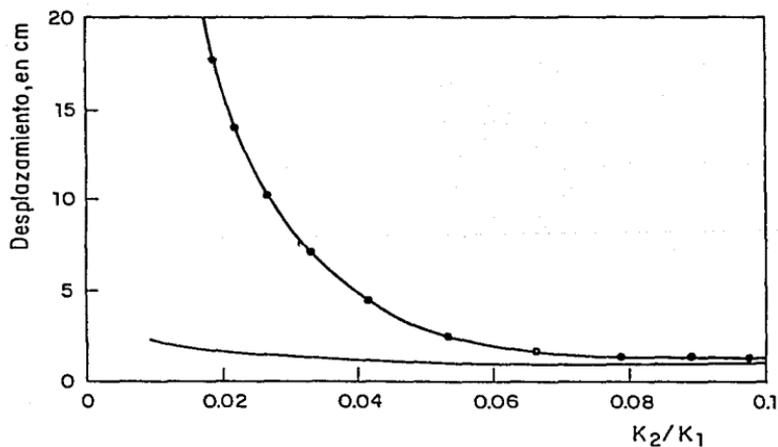
$T = 0.72 \text{ seg}$

Fig 5.3.1 (II) Formación de Articulaciones plásticas (●)



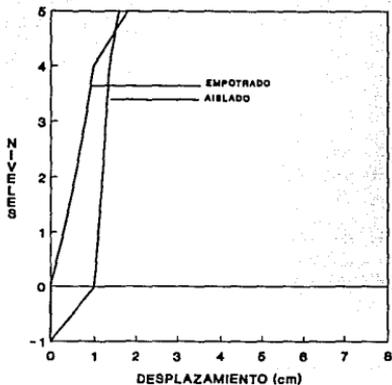
a) Caso I (Viveros, D.F.)

Fig 5.4.1 Desplazamientos máximos medios de la base de la superestructura respecto a la base del aislador.

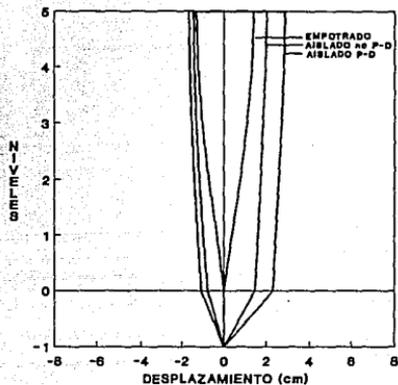


b) Caso II (Acapulco, Gro.)

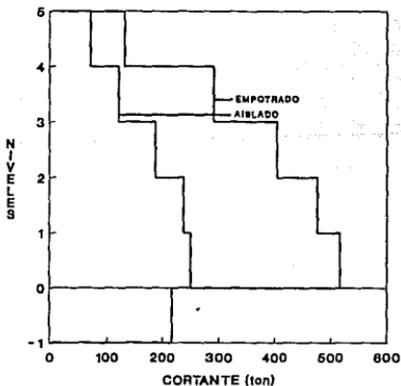
Fig 5.4.2 Desplazamientos máximos medios de la base de la superestructura respecto a la base del aislador.



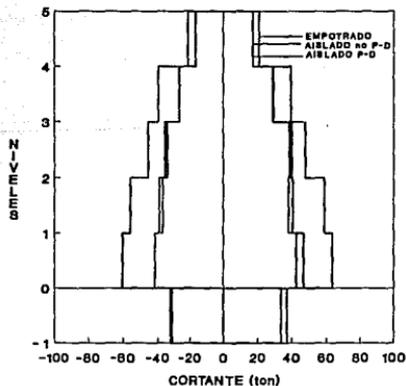
(a) EDIFICIO DE CORTANTE



(b) MARCO F

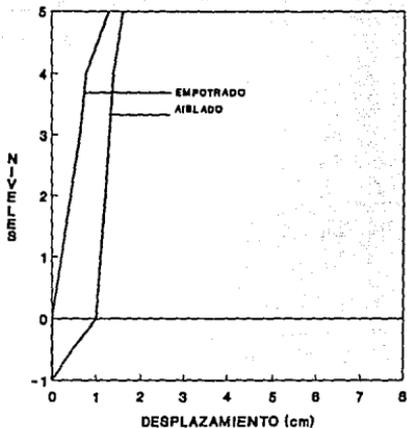


(c) EDIFICIO DE CORTANTE

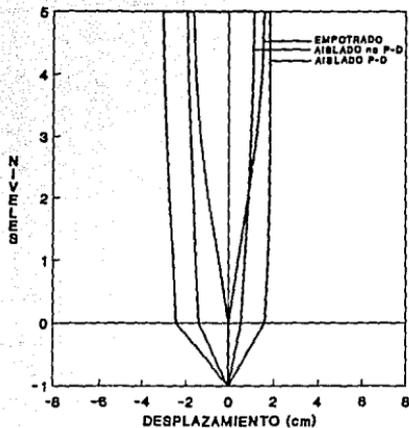


(d) MARCO F

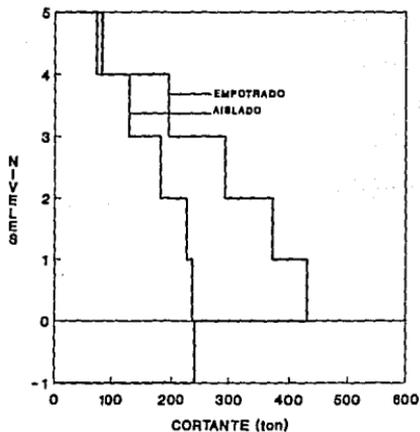
Fig 6.1.1 Envolventes de desplazamiento y cortante con el sismo No.1 (Viveros)



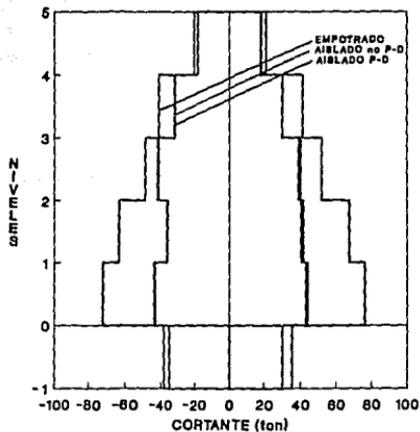
(a) EDIFICIO DE CORTANTE



(b) MARCO F

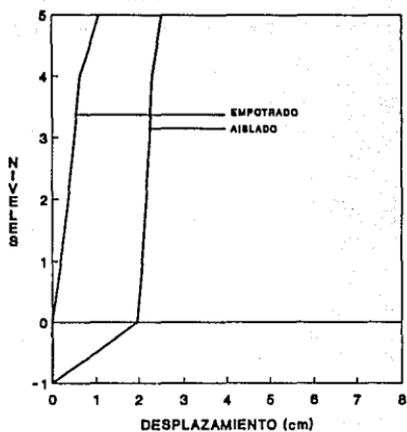


(c) EDIFICIO DE CORTANTE

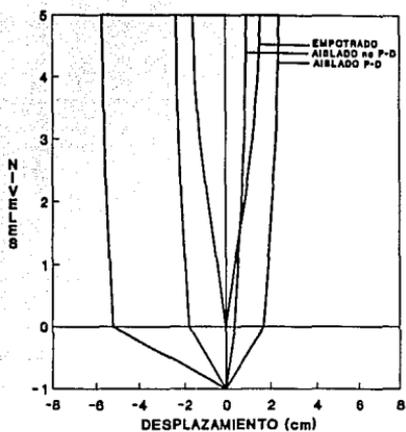


(d) MARCO F

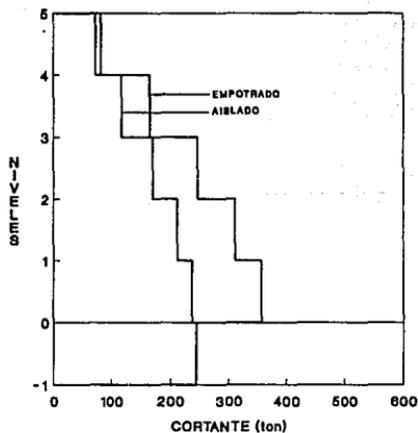
Fig 6.1.2 Envolventes de desplazamiento y cortante con el sismo No. 2 (Viveros)



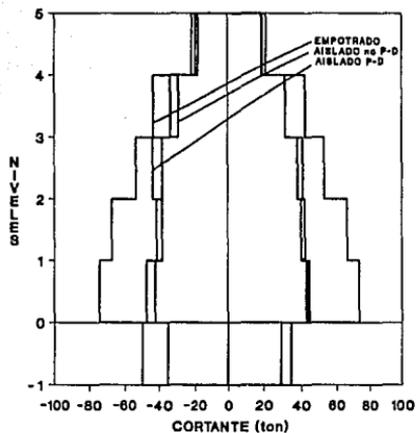
(a) EDIFICIO DE CORTANTE



(b) MARCO F

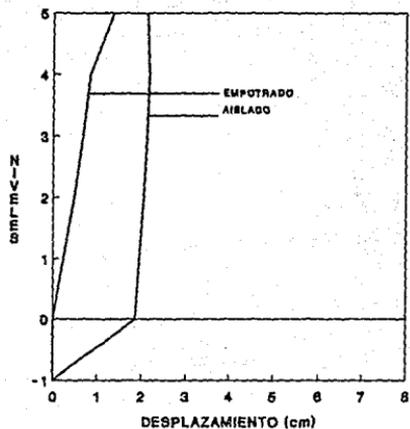


(c) EDIFICIO DE CORTANTE

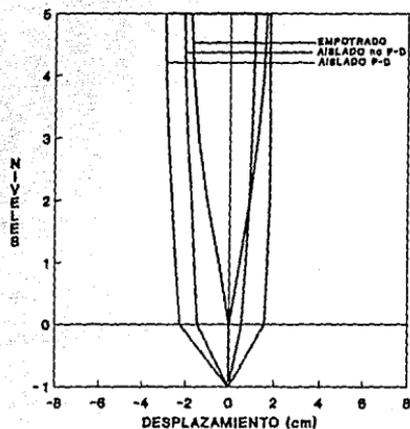


(d) MARCO F

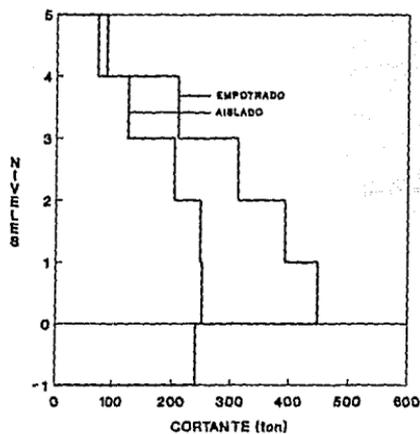
Fig 6.1.3 Envolventes de desplazamiento y cortante con el sismo No. 3 (Viveros)



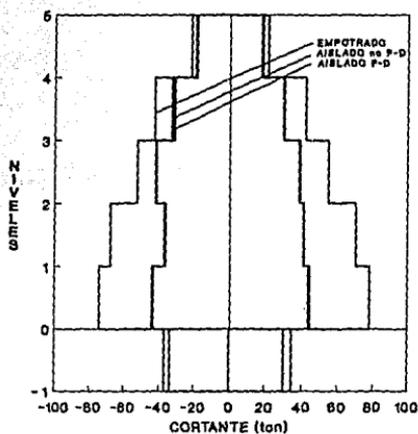
(a) EDIFICIO DE CORTANTE



(b) MARCO F

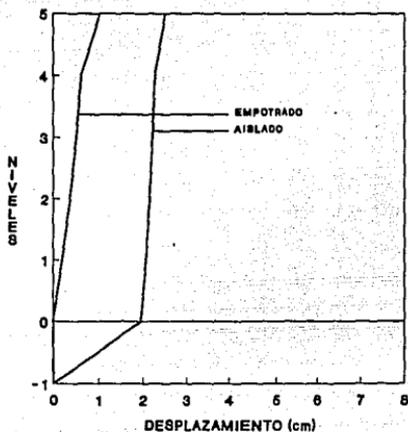


(c) EDIFICIO DE CORTANTE

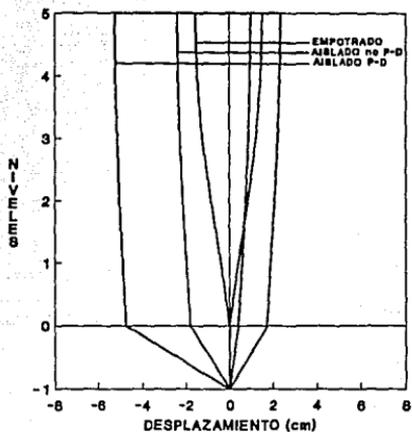


(d) MARCO F

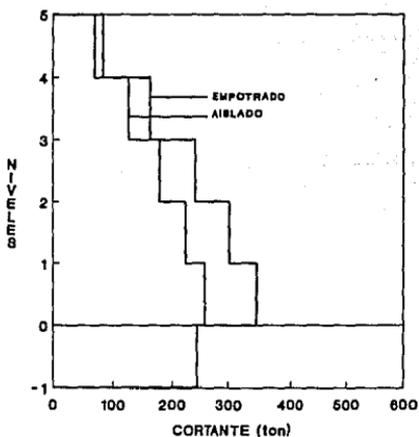
Fig 6.1.4 Envolventes de desplazamiento y cortante con el sismo No. 4 (Viveros)



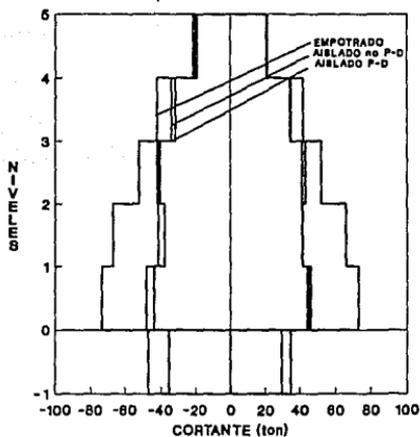
(a) EDIFICIO DE CORTANTE



(b) MARCO F

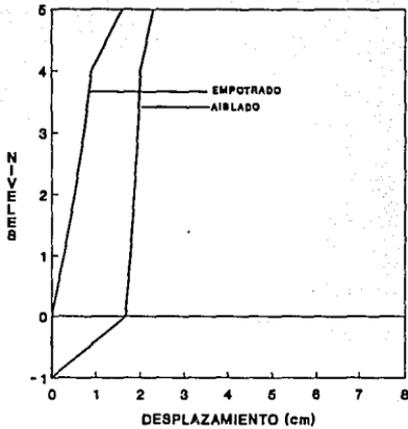


(c) EDIFICIO DE CORTANTE

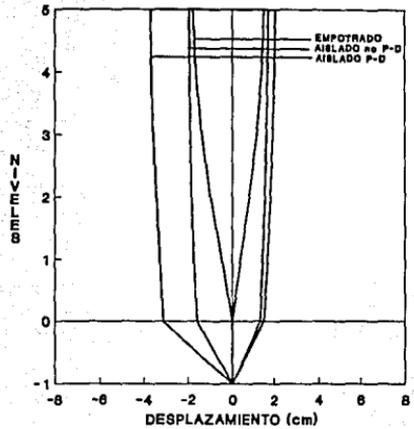


(d) MARCO F

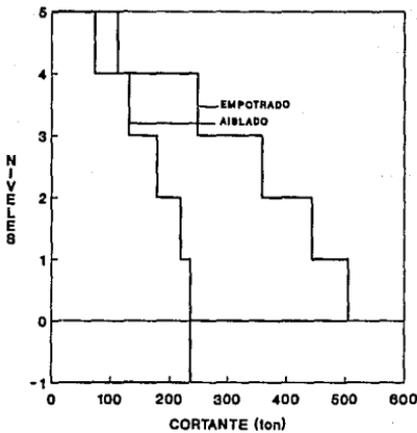
Fig 6.1.5 Envolventes de desplazamiento y cortante con el sismo No. 5 (Viveros)



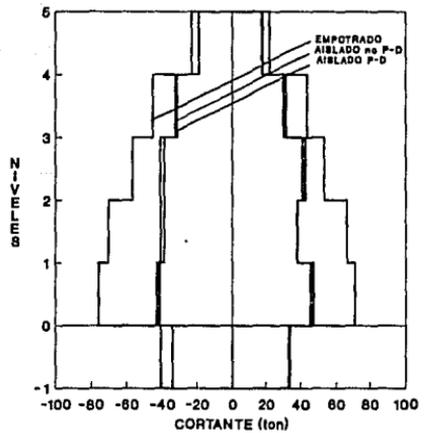
(a) EDIFICIO DE CORTANTE



(b) MARCO F

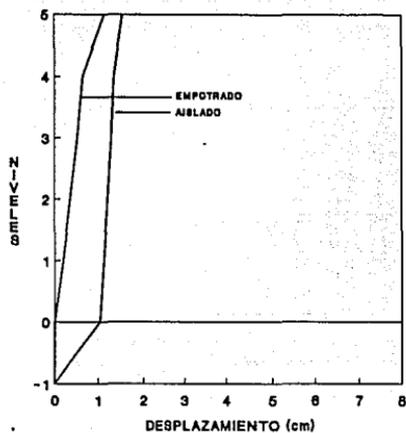


(c) EDIFICIO DE CORTANTE

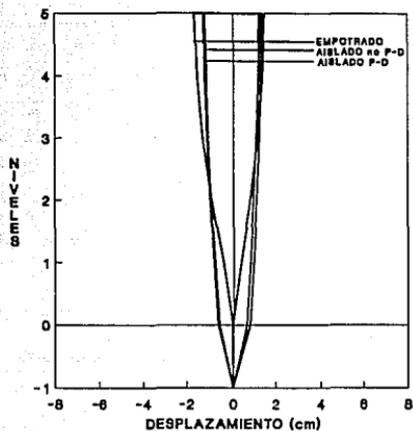


(d) MARCO F

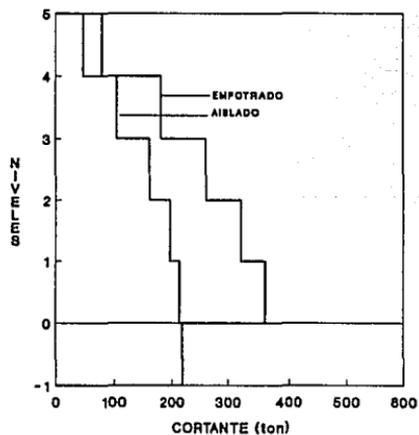
Fig 6.1.6 Envolventes de desplazamiento y cortante con el sismo No. 6 (Viveros)



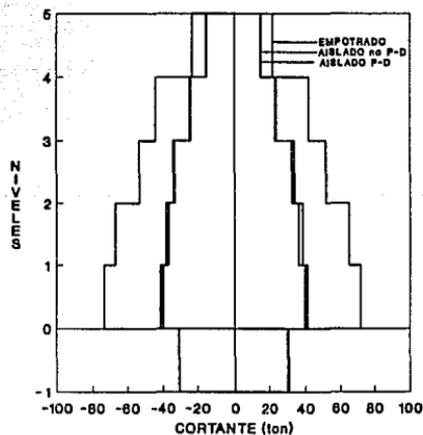
(a) EDIFICIO DE CORTANTE



(b) MARCO F

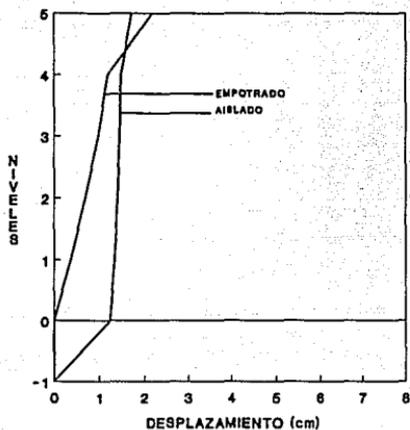


(c) EDIFICIO DE CORTANTE

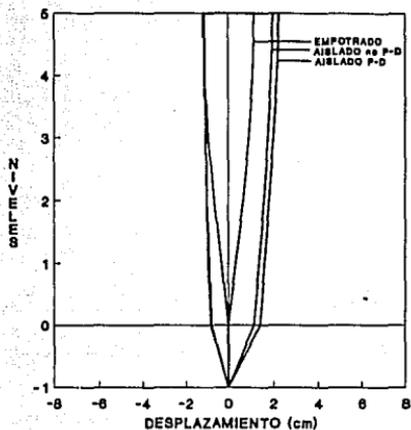


(d) MARCO F

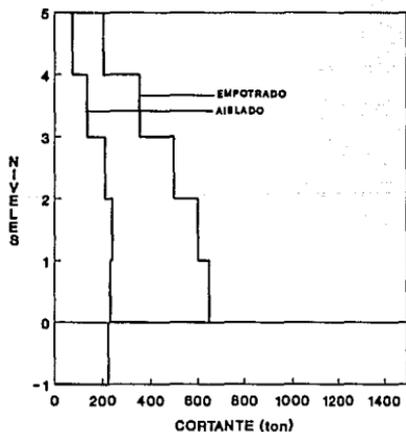
Fig 6.1.7 Envolventes de desplazamiento y cortante con el sismo No. 7 (Viveros)



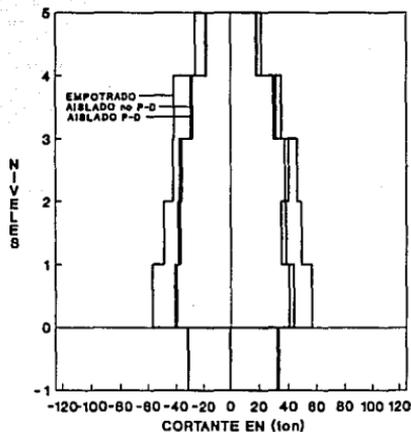
(a) EDIFICIO DE CORTANTE



(b) MARCO F

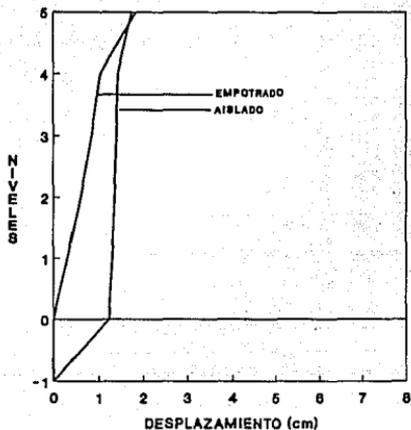


(c) EDIFICIO DE CORTANTE

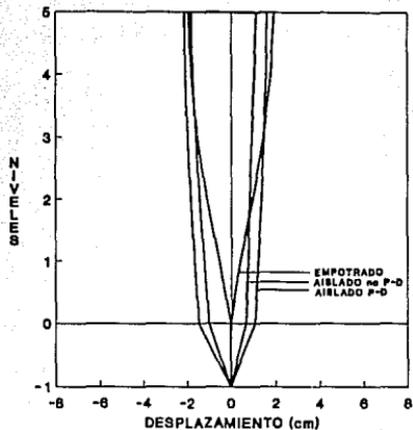


(d) MARCO F

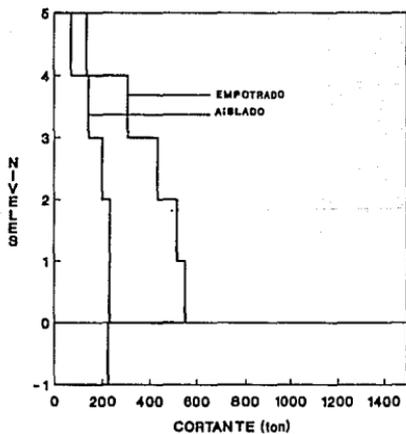
Fig 6.1.8 Envolventes de desplazamiento y cortante con el sismo No. 1 (Acapulco)



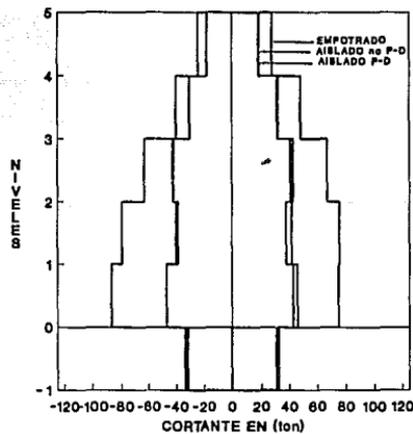
(a) EDIFICIO DE CORTANTE



(b) MARCO F

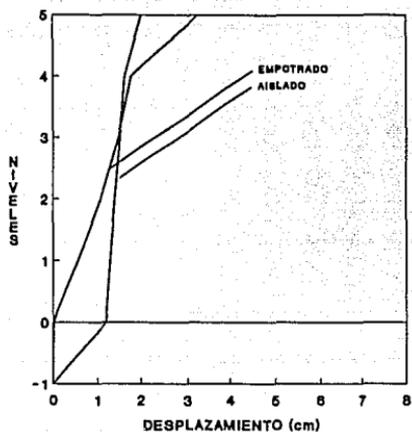


(c) EDIFICIO DE CORTANTE

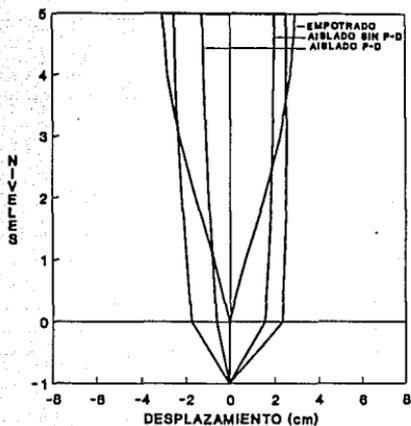


(d) MARCO F

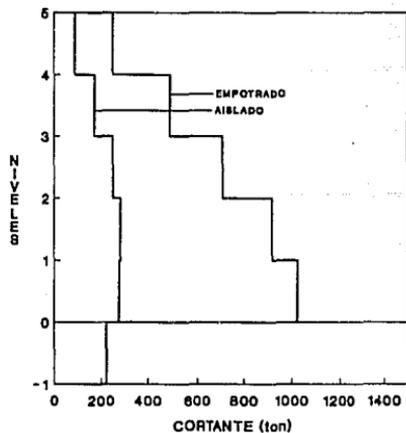
Fig 6.1.9 Envolventes de desplazamiento y cortante con el sismo No. 2 (Acapulco)



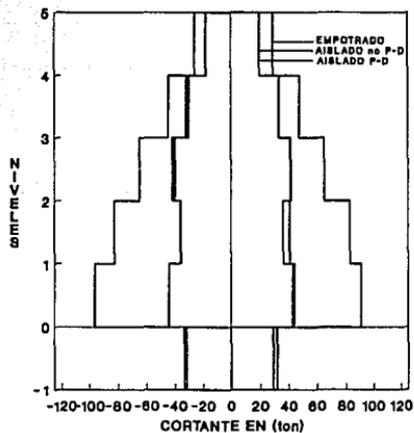
(a) EDIFICIO DE CORTANTE



MARCO F

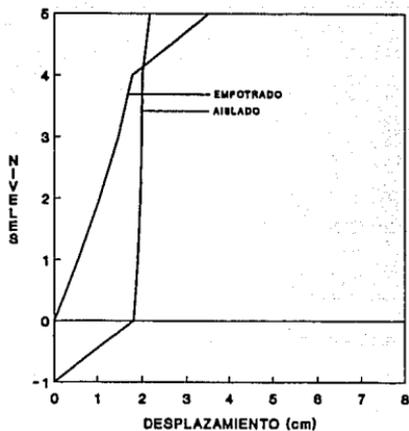


(c) EDIFICIO DE CORTANTE

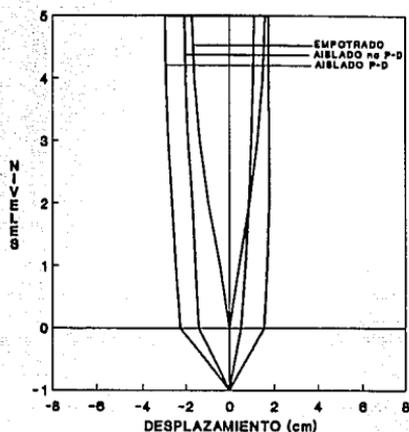


(d) MARCO F

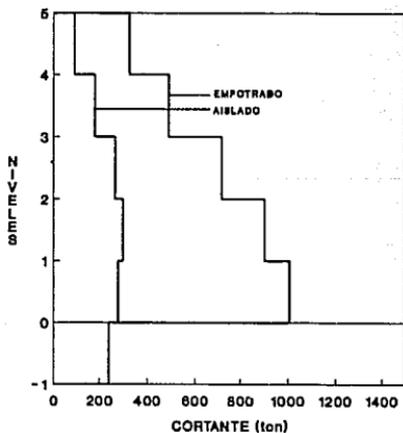
Fig 6.1.10 Envolventes de desplazamiento y cortante con el sismo No. 3 (Acapulco)



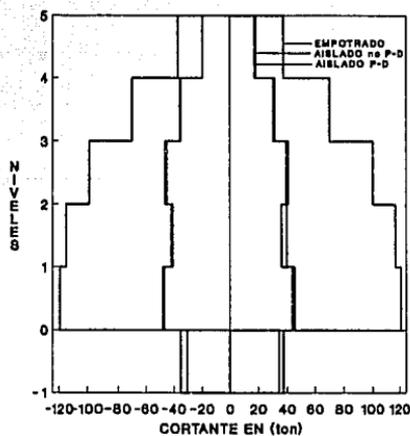
(a) EDIFICIO DE CORTANTE



(b) MARCO F

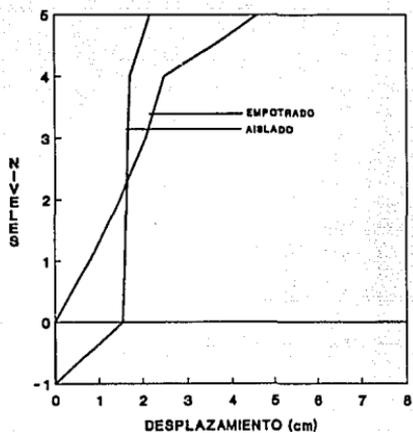


(c) EDIFICIO DE CORTANTE

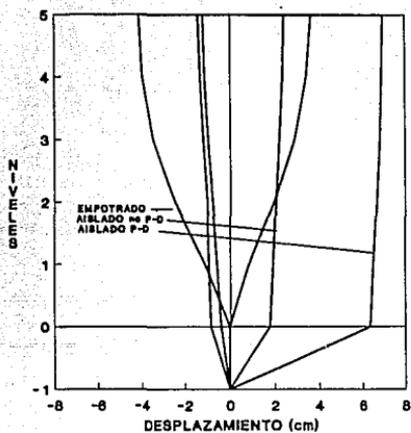


(d) MARCO F

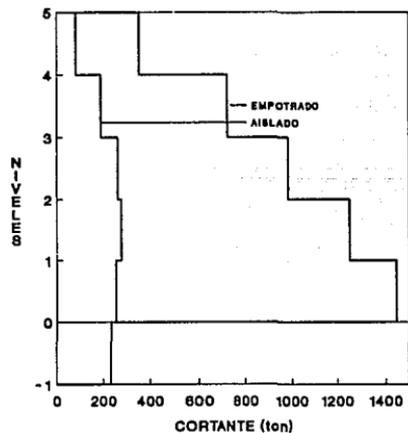
Fig 6.1.11 Envolventes de desplazamiento y cortante con el sismo No. 4 (Acapulco)



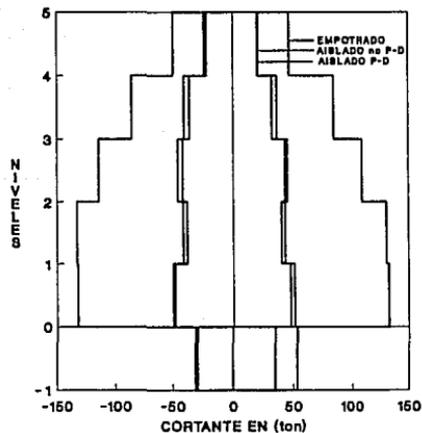
(a) EDIFICIO DE CORTANTE



(b) MARCO F

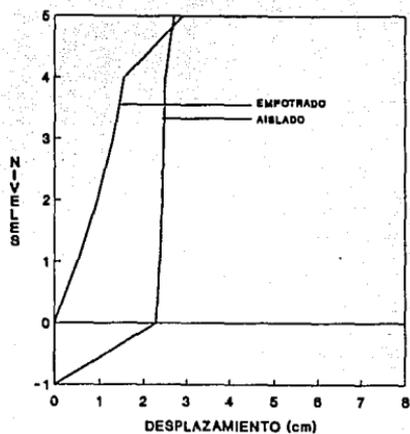


(c) EDIFICIO DE CORTANTE

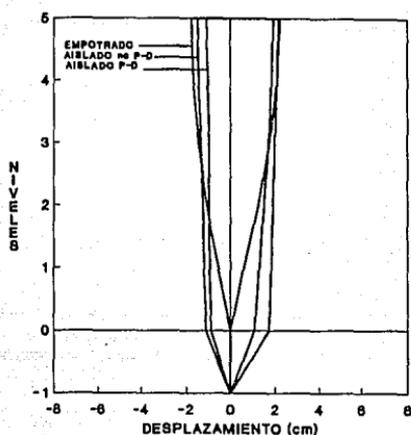


(d) MARCO F

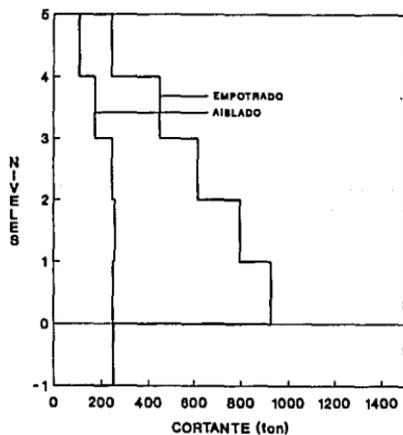
Fig 6.1.12 Envolventes de desplazamiento y cortante con el sismo No. 5 (Acapulco)



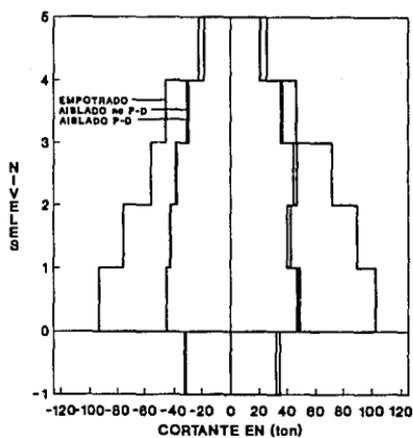
(a) EDIFICIO DE CORTANTE



(b) MARCO F



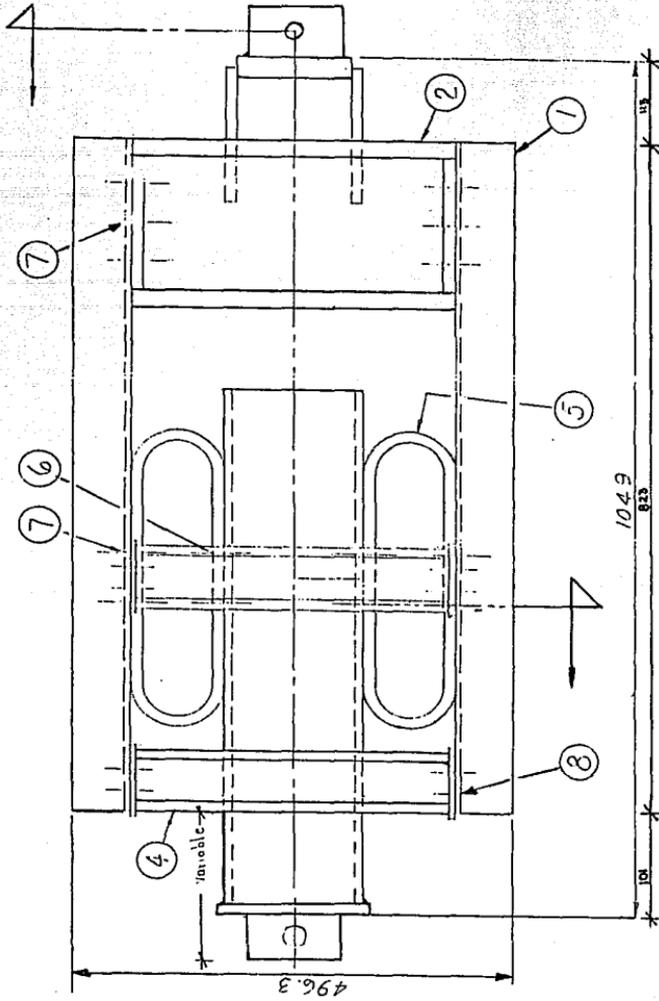
(c) EDIFICIO DE CORTANTE



(d) MARCO F

Fig 6.1.13 Envolventes de desplazamiento y cortante con el sismo No. 6 (Acapulco)

APENDICE " A "

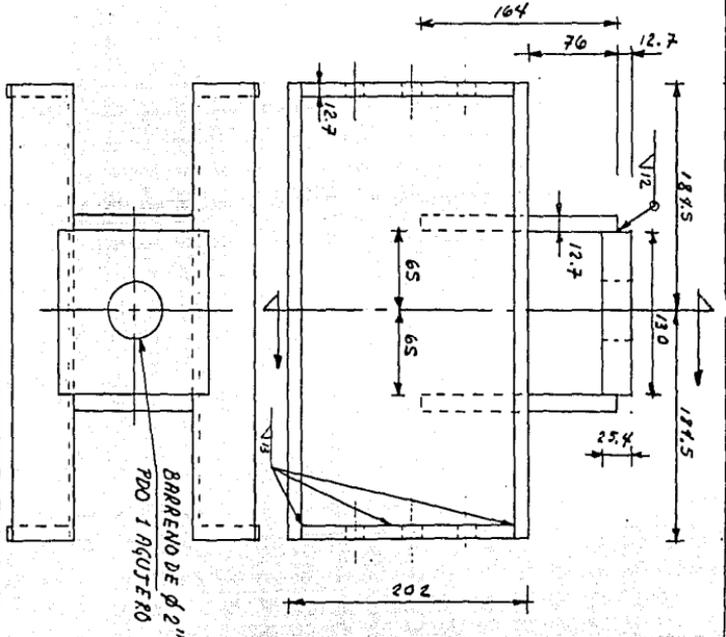
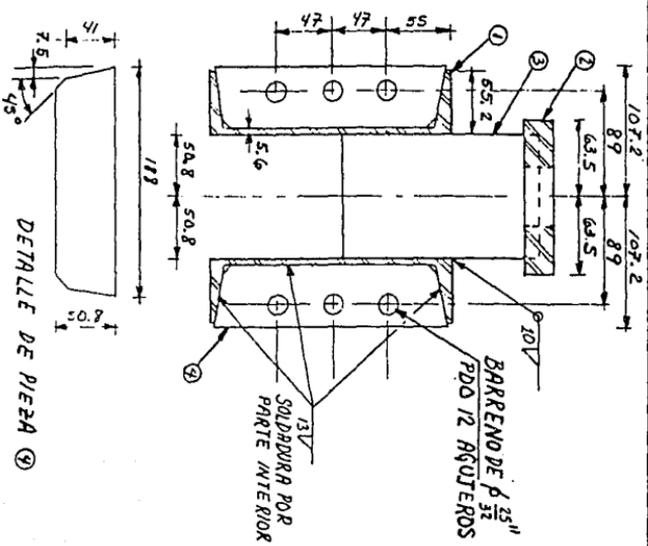


COMPONENTES:

- ① 2-MIEMBRO LATERAL Dib. No. 8114-1
- ② 1-MIEMBRO PUENTE Dib. No. 8114-3
- ③ 1-MIEMBRO CENTRAL Dib. No. 8114-4
- ④ 4-TRAVESAÑOS Dib. No. 8114-5 7
- ⑤ 6-OVALOS Dib. No. 8114-1
- ⑥ 12-TORNILLOS, $\phi \frac{1}{2}$ " x 32 MM
- ⑦ 24-TORNILLOS, $\phi \frac{1}{4}$ " x 33 MM
- ⑧ 16-TORNILLOS, $\phi \frac{1}{8}$ " x 16 MM

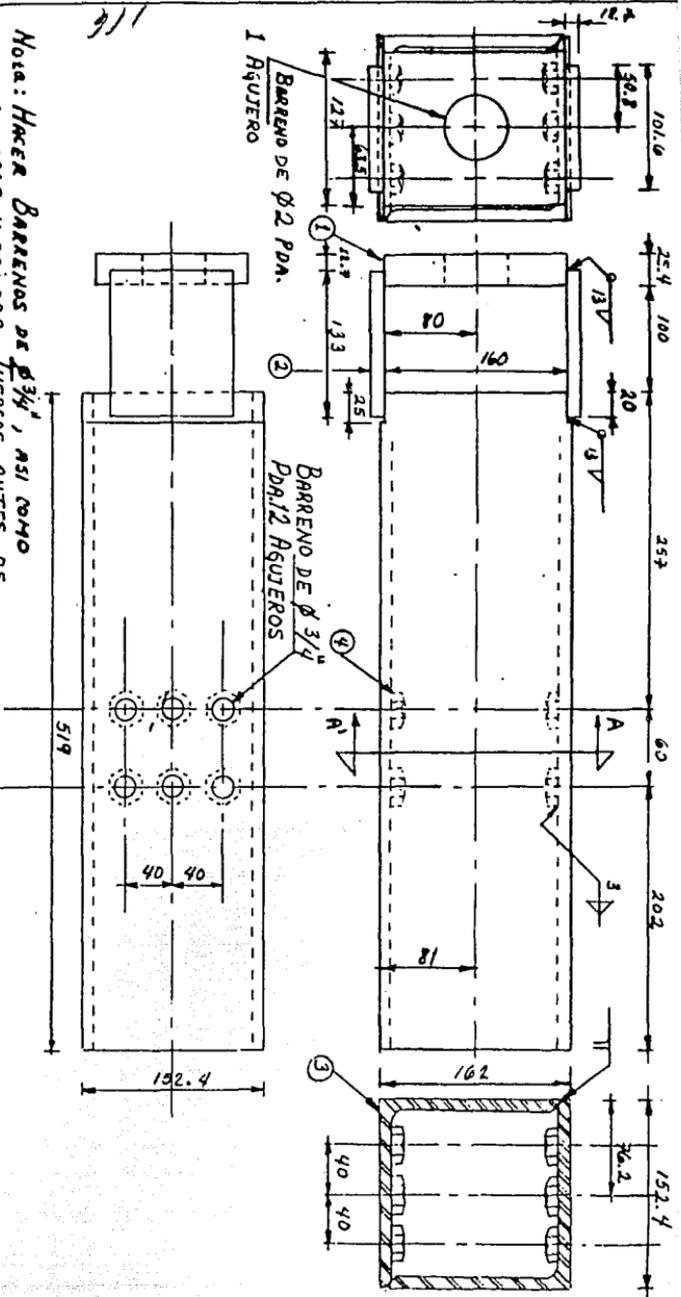
INSTITUTO DE INGENIERIA
 MECANICA, TERMICA Y FLUIDOS
 ENSAMBLE. DISPOSITIVO
 DISIPADOR DE ENERGIA
 Prov. Alumne Ess - 114
 Domic: " Acop: M.M
 Rev: 2.3.58 8114-6

115



- MATERIAL:
- ① 2- CANAL DE 8" X 2 1/4" X 5.6 MM X 369 MM DE LARGO
 - ② 1- Soquera Cold-Rolled (SAE 1018) DE 7.5" X 130 MM DE LARGO
 - ③ 2- Soquera Cold-Rolled (SAE 1018) DE 1/2" X 4" X 161 MM DE LARGO
 - ④ 4- Soquera Cold-Rolled (SAE 1018) DE 1/2" X 2" X 188 MM DE LARGO
- CANTIDAD: 1 PIEZA

INSTITUTO DE INGENIERIA MECANICA, TERMICA Y FLUIDOS	
MIEMBRO PUENTE. PRUEBAS DE DISPOSITIVO DISIPADOR DE ENERGIA	
PROY: M. AGUIRRE DIBUJO: S. RUIZCABA REVISO: M. AGUIRRE	ESC: 1:4 ACDT: M M FECHA: 2-VI-88
8114-3	



Nota: Hacer BARENOS DE $\phi 3/4"$, ASI COMO COLOCAR Y SOLDAR TUERCAS ANTES DE FORMAR SECCION CAJON

MATERIAL:

- ① 1-SOLERA COLD-ROLLED (SAE A36) DE $1" \times 5" \times 160$ MM DE LARGO
 - ② 2-SOLERA COLD-ROLLED DE $1/2" \times 4" \times 133$ MM DE LARGO
 - ③ 2-ANGULO DE $6" \times 6" \times 3/8" \times 519$ MM DE LARGO
 - ④ 12-TUERCAS DE $\phi 3/4"$
- CANTIDAD: 1-PIEZA

INSTITUTO DE INGENIERIA

MECANICA, TERMICA Y FLUIDOS

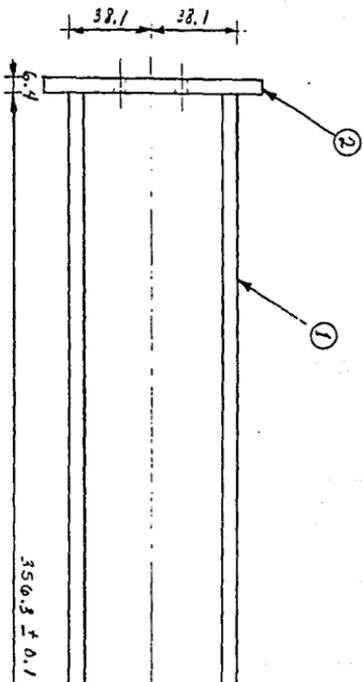
MIEMBRO CENTRAL. PRUEBAS DE

DISPOSITIVO DISIPADOR DE ENERGIA.

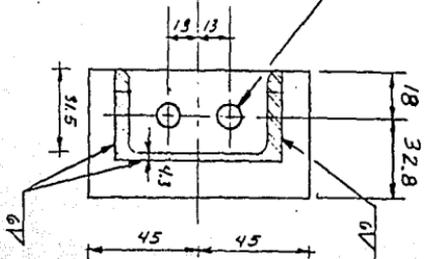
PROY: M. AGUIRRE
 DIBUJO: S. FERNANDEZ
 REVISOR: M. AGUIRRE

Esc. 1:4
 Ref. M4
 Fecha: 12-V-88

8114-4



BARENO DE $\phi 3/8"$
Pdo y Agujeros



117

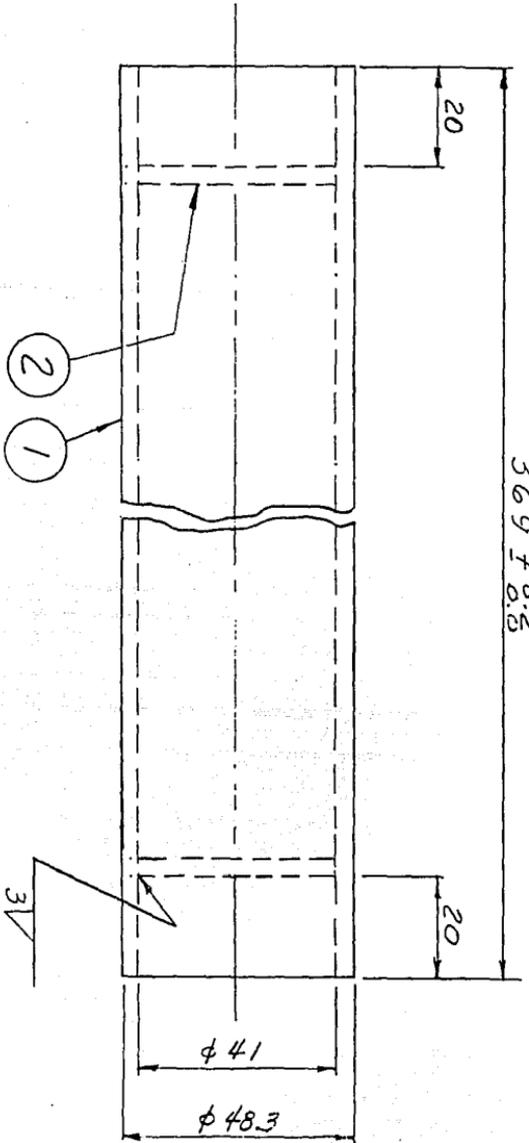
MATERIAL
 ① 4- CANAL DE 3" X 1 1/2" X 4.3 X 350.3 DE LARGO
 ② 8- SOLERA COLD-ROLLED DE 1/4" X 2" X 90 DE LARGO
 CANTIDAD : 4 PIEZAS.

INSTITUTO DE INGENIERIA
 MECANICA, TERMICA Y FLUIDOS

TRAYESAÑOS. PRUEBAS DE
 DISPOSITIVO DISIPADOR DE ENERGIA

PROY: M. AGUIRRE	ESC. 1:2	8114-5
DISEÑO: S. RIVALCADA	ACOT. M.M.	
REVISO: M. AGUIRRE	FECHA: 24-V-88	

369 ± 0.3



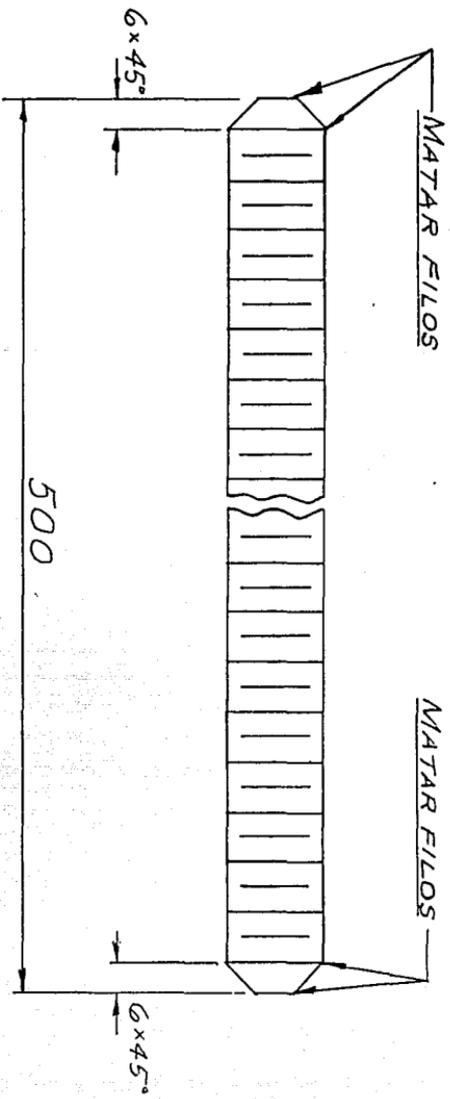
3 PUNTOS DE SOLDADURA,
IGUALMENTE ESPACIADOS.

MATERIAL:

- ① 1-TUBO DE $\phi 1/2"$, Cedula 40, 369 DE LARGO
- ② 2-ARANDELA PLANA DE $\phi_1 = 13"$, $\phi_2 = 1 1/2"$

CANTIDAD: 4 PIEZAS

INSTITUTO DE INGENIERIA MECANICA, FLUIDOS Y TERMICA	
TUBO ESPACIADOR. PRUEBAS DE DISPOSITIVO DISIPADOR DE ENERGIA	
Proy. M. Aguilar	Esc. 1:1
Dibujó: " Acot. MM	
Reviso: " Fecha: 20 III 88	
8114-7	



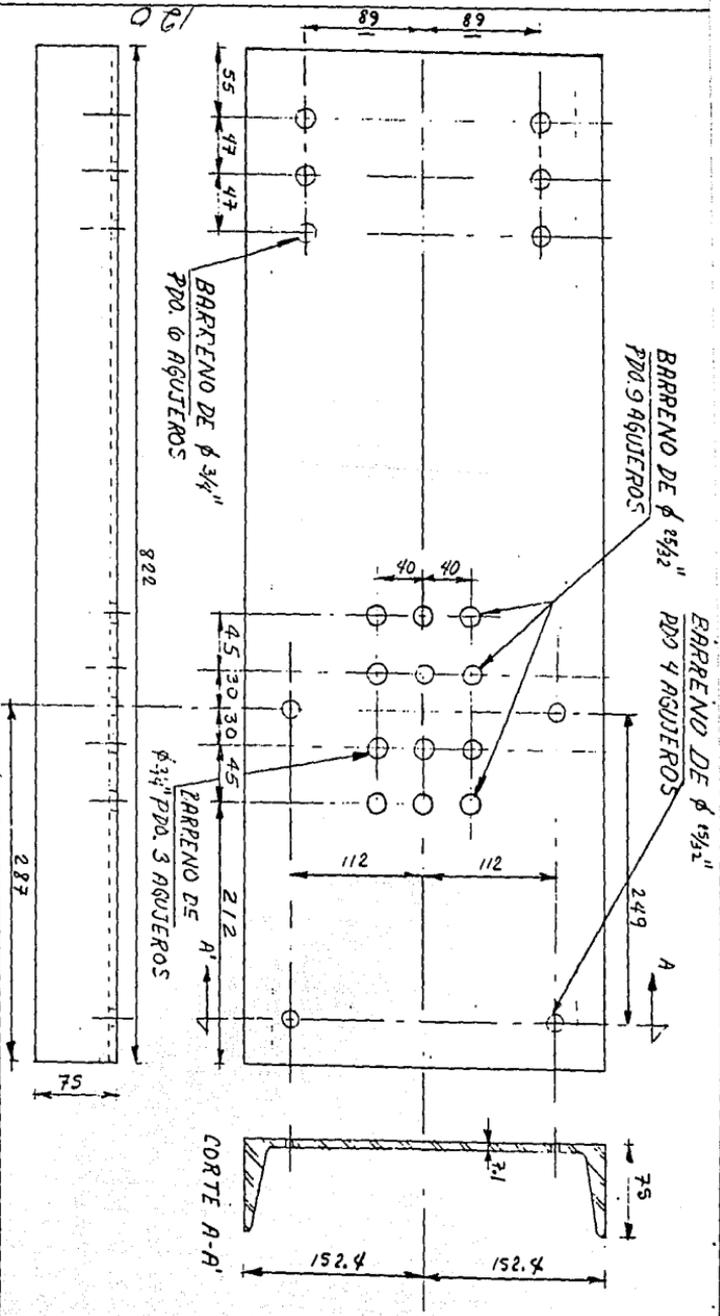
125

MATERIAL:

BARRA ROSCADA DE ϕ $\frac{3}{4}$, 500 DE LARGO

CANTIDAD: 4 PIEZAS

INSTITUTO DE INGENIERIA MECANICA, FLUIDOS Y TERMICA	
BARRA ESPALCADORA. PRUEBAS DE DISPOSITIVO DISIPADOR DE ENERGIA	
Proy. M. AGUIRRE	ESC. 1-1
Dibujo: "	ACOT. N/1.
REVISO: "	FECHA: 20 III 88
8114-8	



MATERIAL :
 CANAL DE 1/2" X 3" X 7.1MM X 822MM DE LARGO
 CANTIDAD : 2 PIEZAS

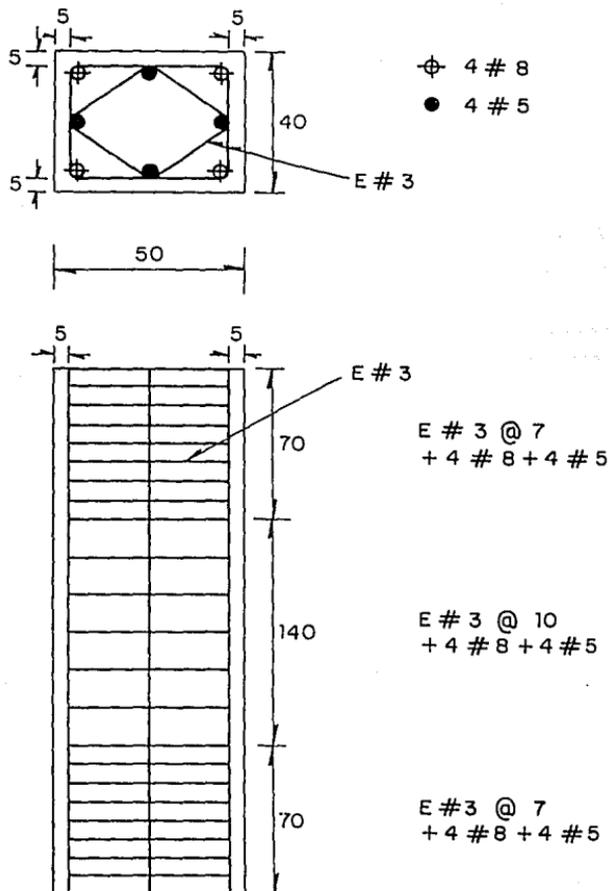
INSTITUTO DE INGENIERIA MECANICA, TERMICA Y FLUIDOS		
MIEMBRO LATERAL. PRUEBAS DE DISPOSITIVO DISIPADOR DE ENERGIA		
PROY: M. AGUIRRE DIBUJO: S. RIVACRABA REVISO: M. AGUIRRE	ESC: 1:4 RCO: MM FECHA: 18-11-88	8114-11

APENDICE " B "

Estructura empotrada . Acapulco

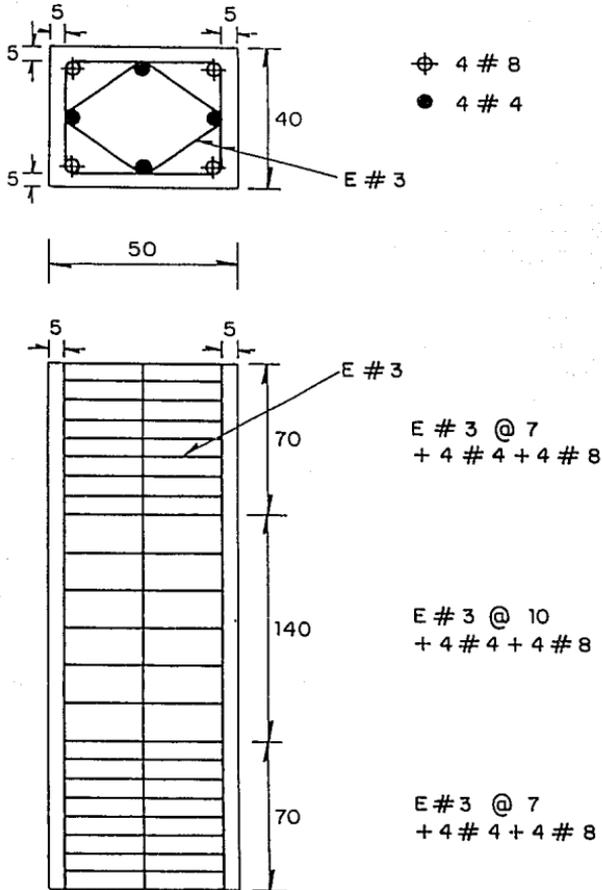
Diseño de columnas

Columna en el Nivel # 1



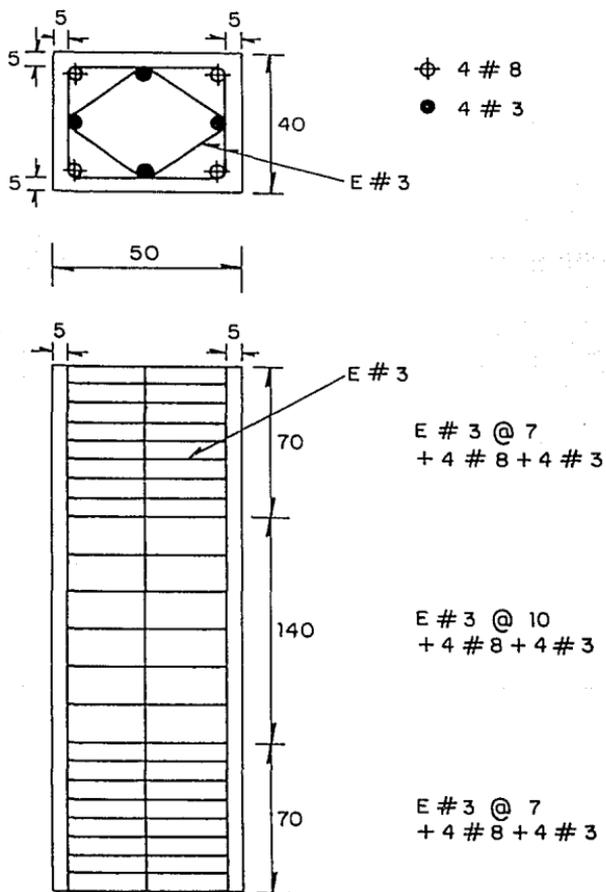
Acotaciones, en cm

Columna en el Nivel # 2



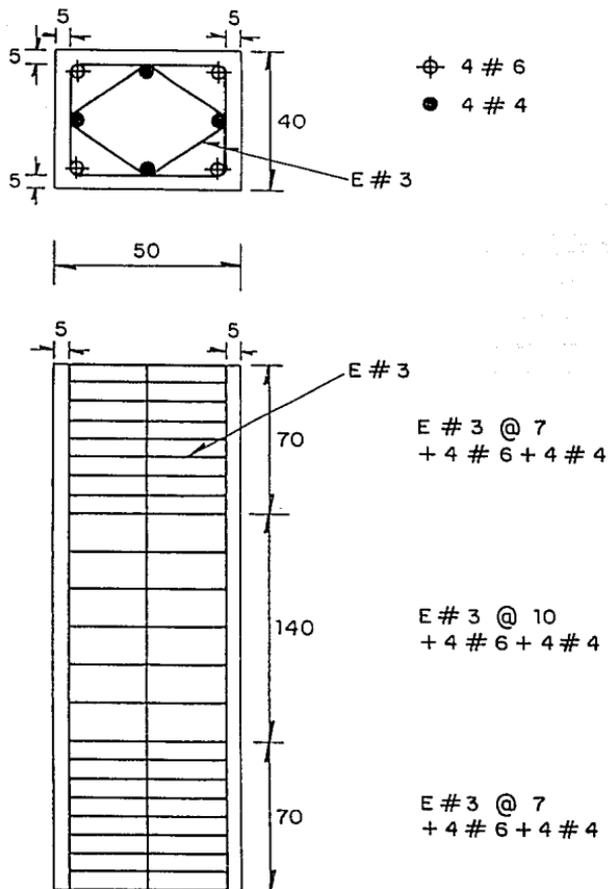
Acotaciones, en cm

Columna en el Nivel # 3



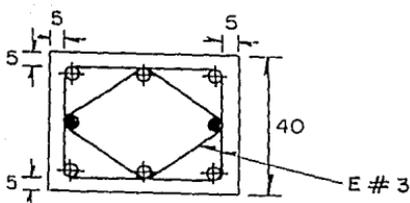
Acotaciones, en cm

Columna en el Nivel # 4



Acotaciones, en cm

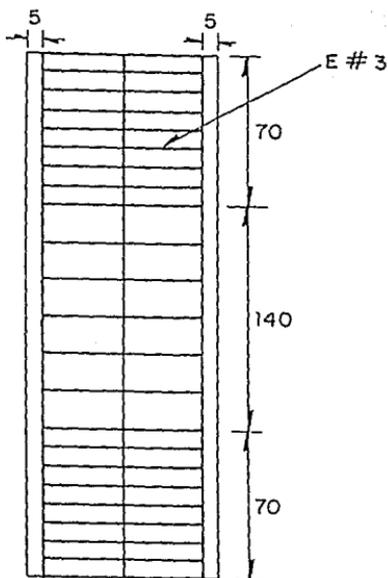
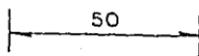
Columna en el Nivel # 5



⊕ 6 # 4

● 2 # 5

E # 3

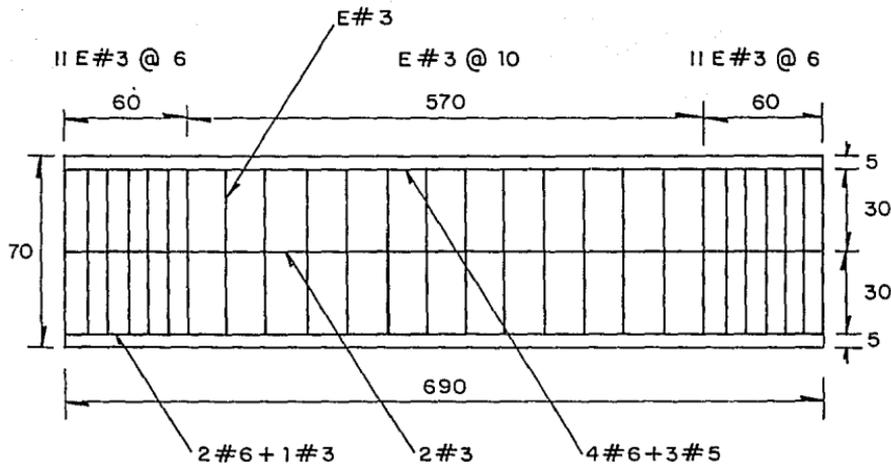
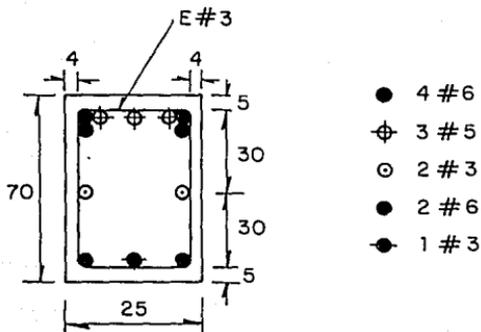


E # 3 @ 7
+ 6 # 4 + 2 # 5

E # 3 @ 10
+ 6 # 4 + 2 # 5

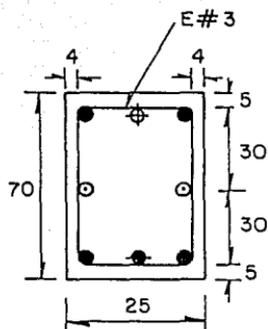
E # 3 @ 7
+ 6 # 4 + 2 # 5

Viga tipo I , para los niveles 1 y 2

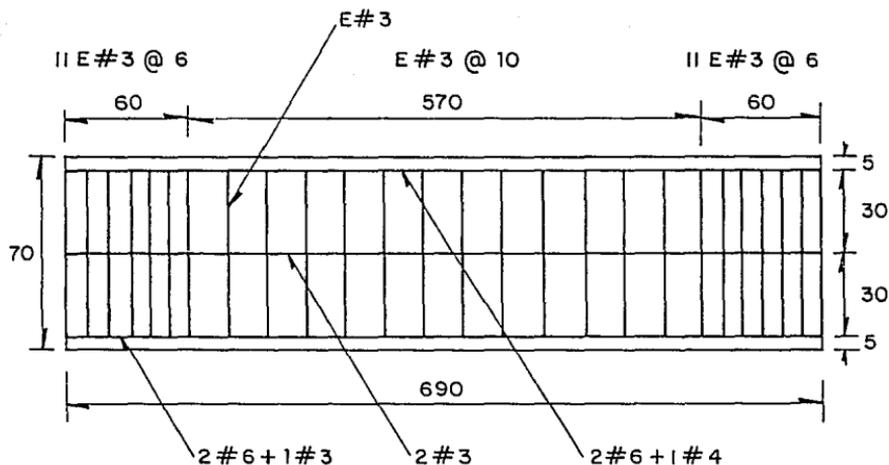


Acotaciones, en cm

Viga tipo II, para los niveles 3 y 4

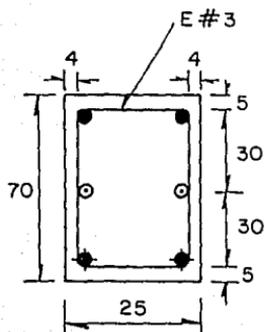


- 2 # 6
- ⊕ 1 # 4
- 2 # 3
- 2 # 6
- 1 # 3

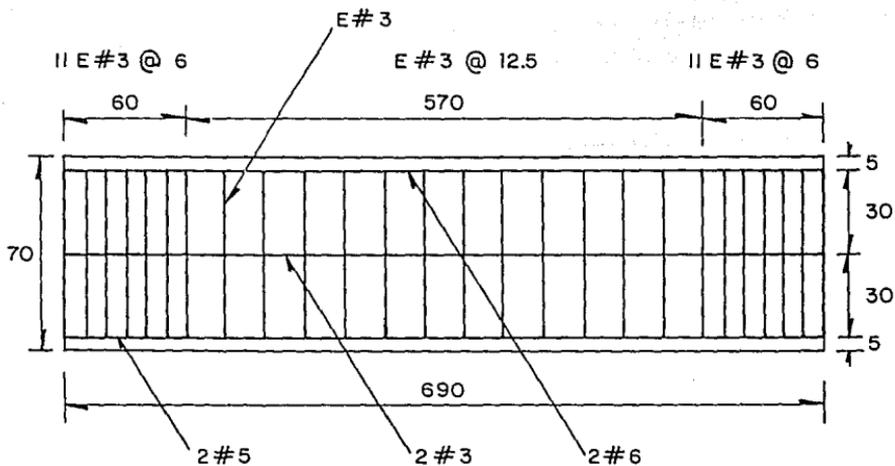


Acotaciones, en cm

Viga tipo III, para nivel de azotea



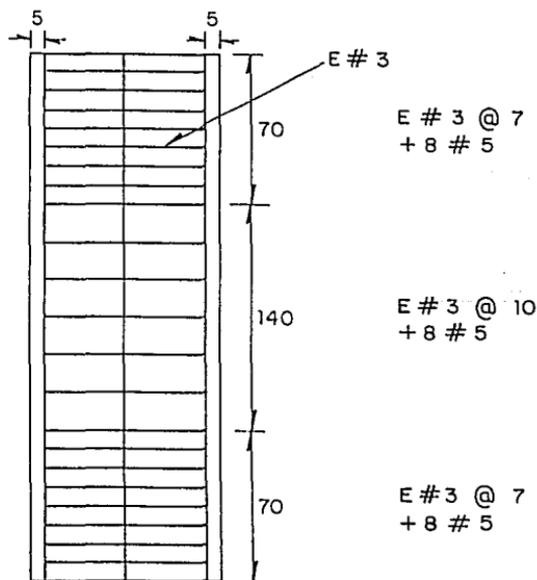
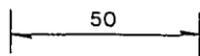
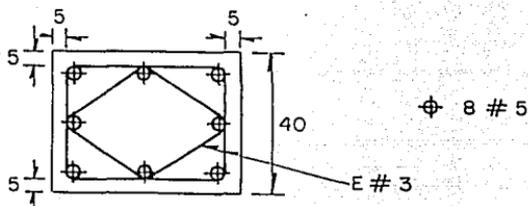
- 2 # 6
- ⊙ 2 # 3
- ◆ 2 # 5



Acotaciones, en cm

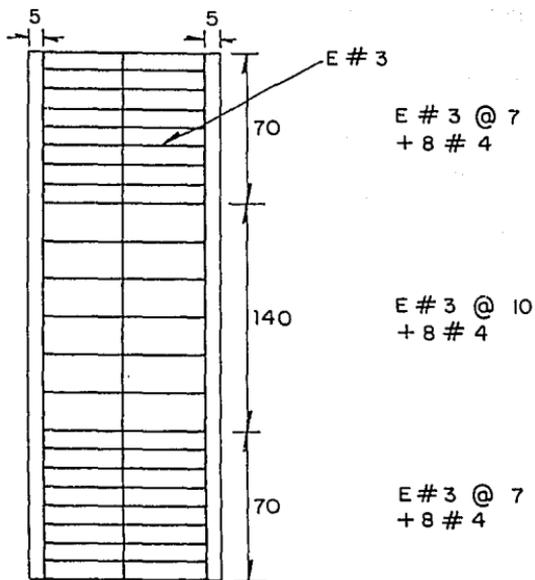
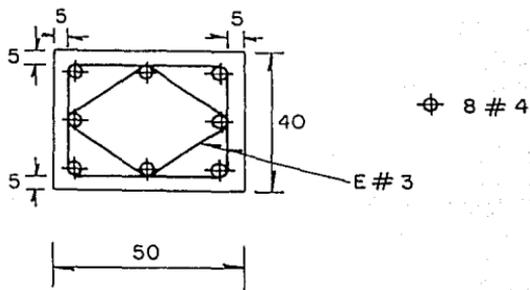
Diseño de columnas reducidas por aislamiento (Acapulco)

Para las crujeas ① y ⑦, para todas las columnas en los diferentes niveles



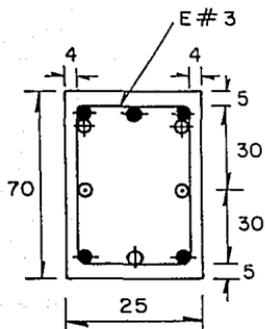
Acotaciones, en cm

Para las cruñas ②, ③, ④, ⑤ y ⑥, para todos los niveles

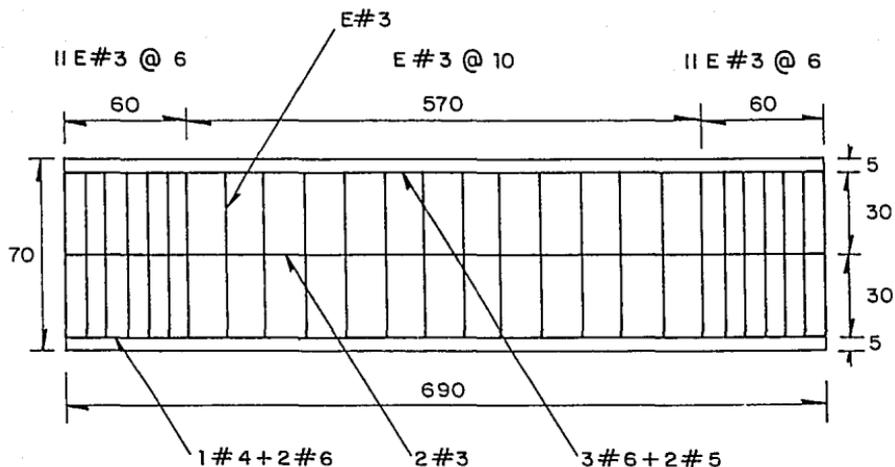


Acotaciones, en cm

Viga tipo I , para los niveles 1 y 2

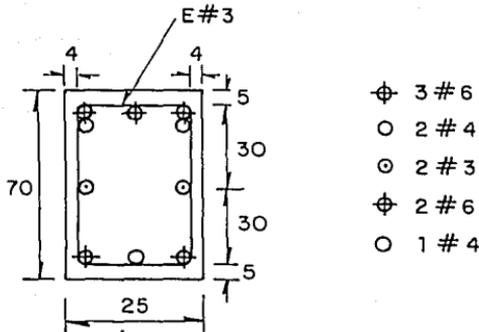


- 3 # 6
- ⊕ 2 # 5
- 2 # 3
- ⊕ 1 # 4
- 2 # 6

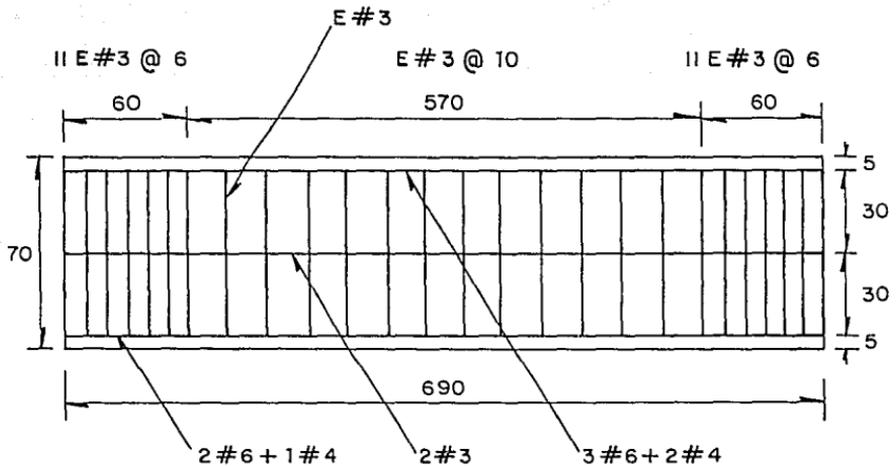


Acotaciones, en cm

Viga tipo II, para los niveles 3 y 4

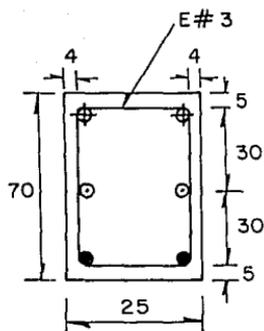


- ⊕ 3 # 6
- 2 # 4
- ⊙ 2 # 3
- ⊕ 2 # 6
- 1 # 4

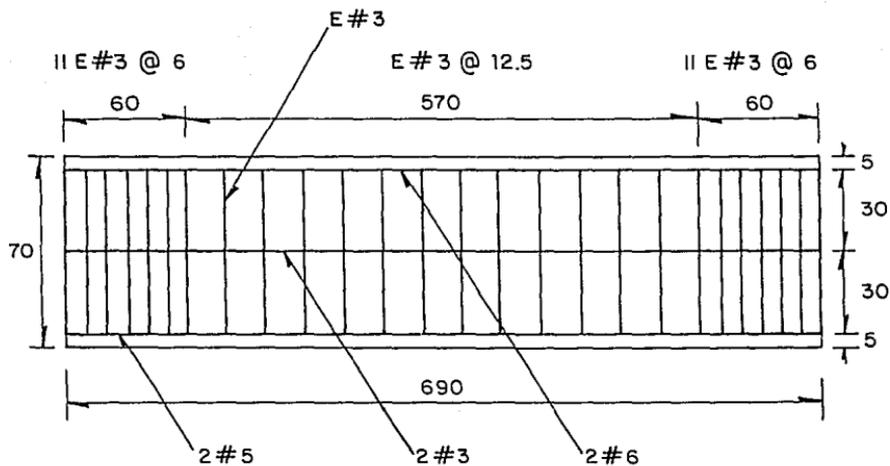


Acotaciones, en cm

Viga tipo III, para el nivel de azotea



- ⊕ 2 # 6
- 2 # 3
- 2 # 5

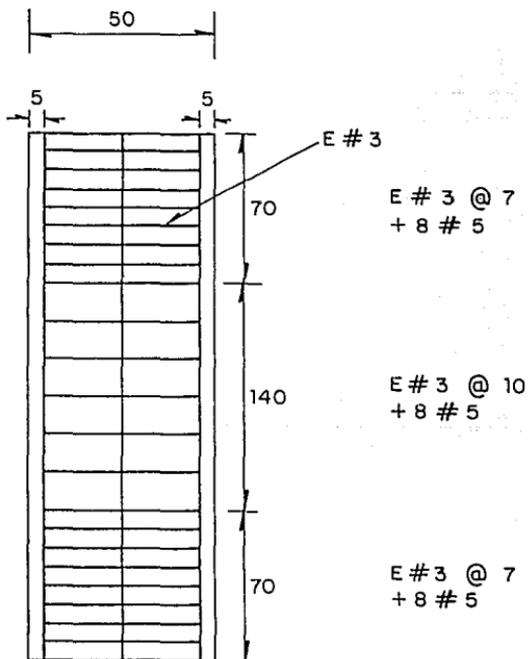
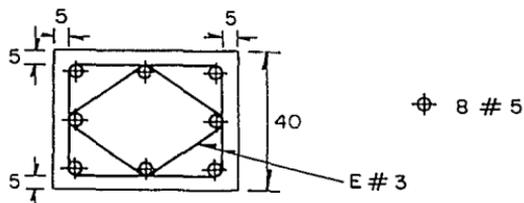


Acotaciones, en cm

Estructura empotrada D.F.

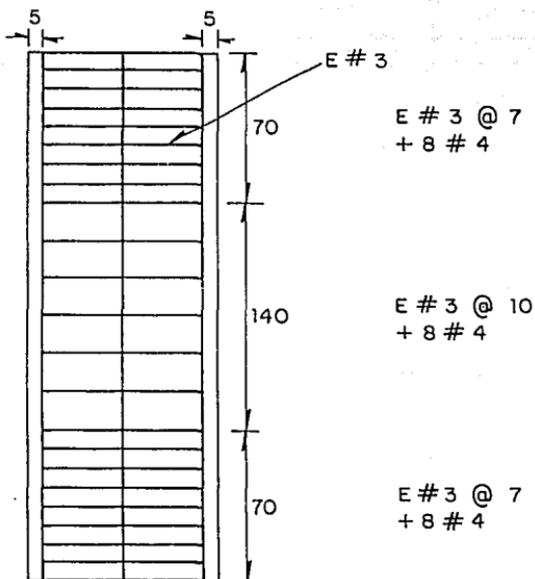
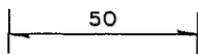
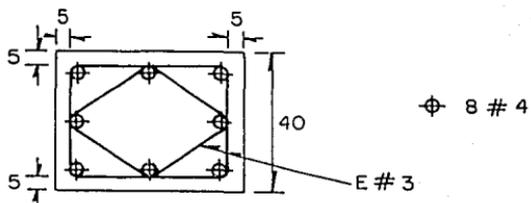
Diseño de columna

Para las crujeas ① y ⑦, en todos los niveles



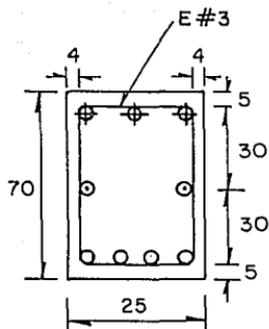
Acotaciones, en cm

Para las crujeías ②, ③, ④, ⑤ y ⑥, en todos los niveles

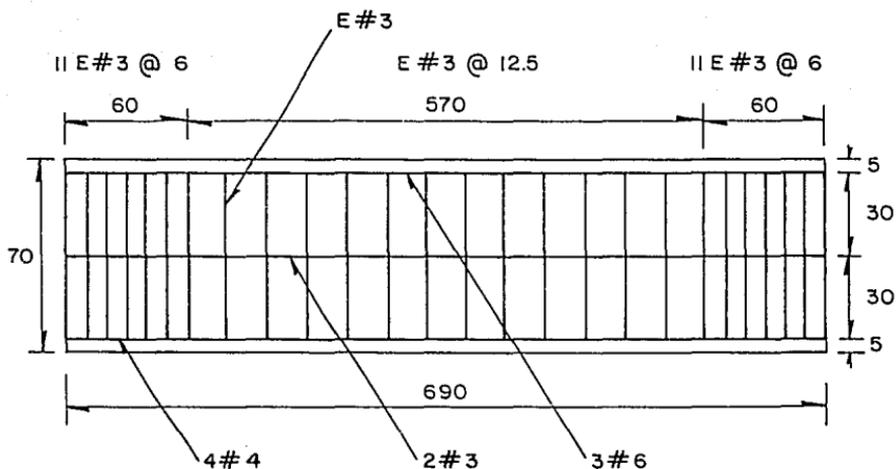


Acotaciones, en cm

Viga tipo I , para todos los niveles excepto azotea



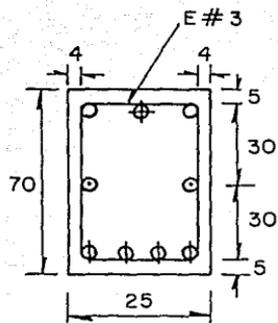
- ⊕ 3 # 6
- ⊙ 2 # 3
- 4 # 4



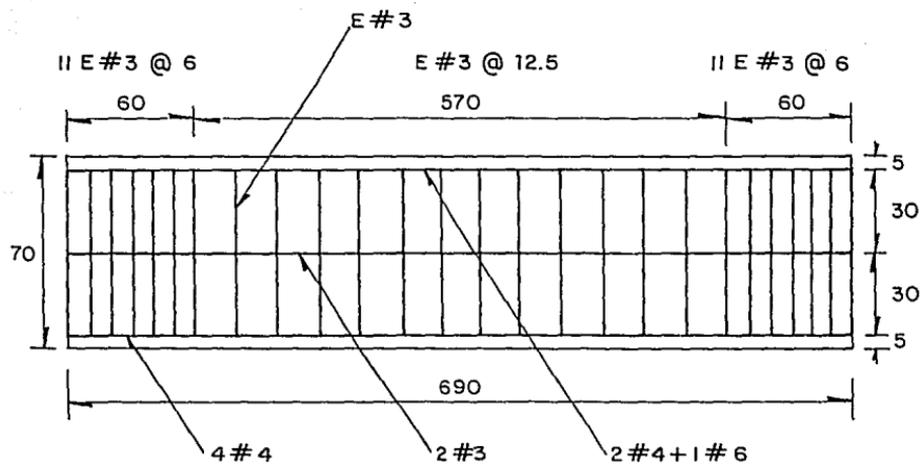
Acotaciones, en cm

137

Viga tipo II, para nivel de azotea



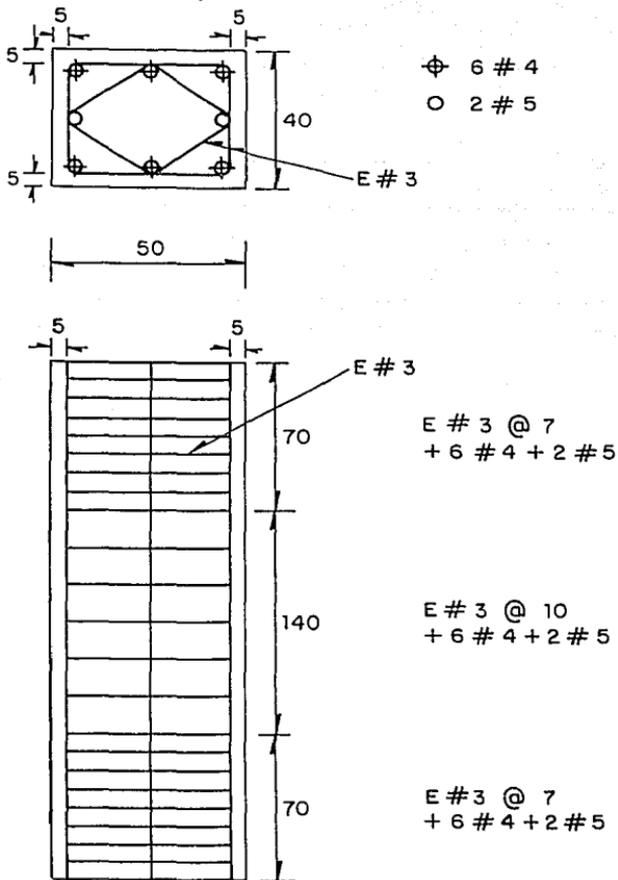
- 2 # 4
- ⊕ 1 # 6
- ⊙ 2 # 3
- ⊕ 4 # 4



Acotaciones, en cm

Diseño de columnas reducidas por aislamiento (D.F.)

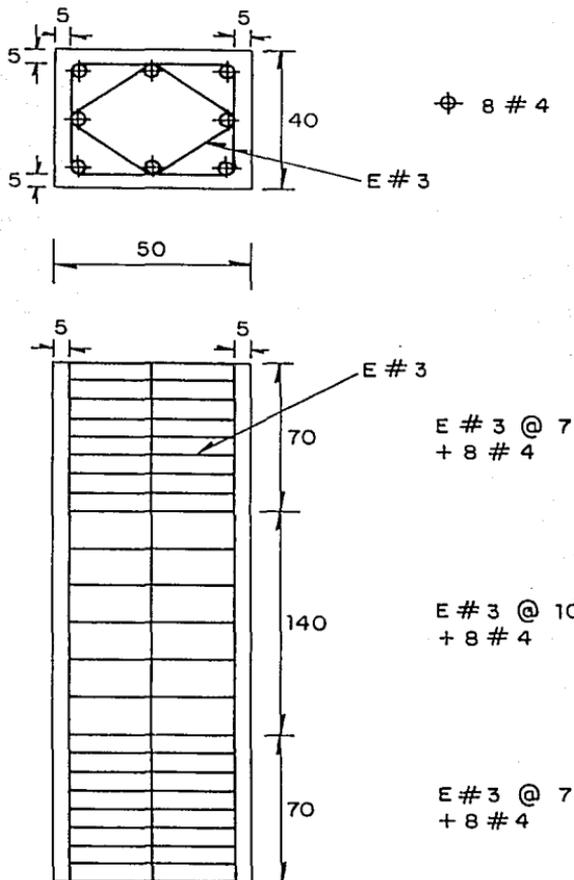
Para las crujeías ① y ⑦, para todas las columnas en los diferentes niveles



Acotaciones, en cm

Diseño de columnas reducidas por aislamiento (D.F.)

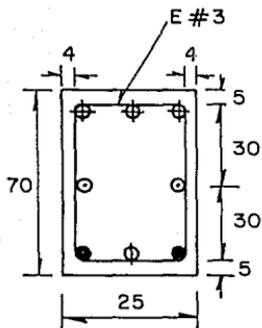
Para las crujeas ②, ③, ④, ⑤ y ⑥, para todas las columnas en los diferentes niveles



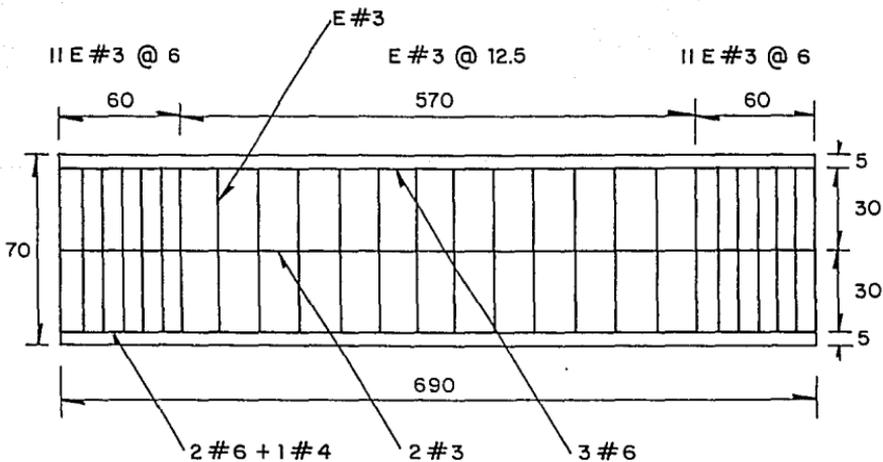
Acotaciones, en cm

140

Diseño de vigas, para todos los niveles excepto azotea



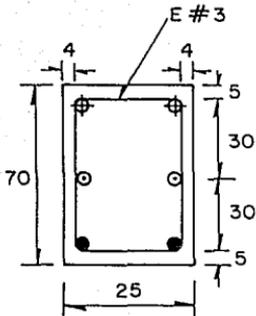
- ⊕ 3 # 6
- ⊙ 2 # 3
- 2 # 6
- ⊕ 1 # 4



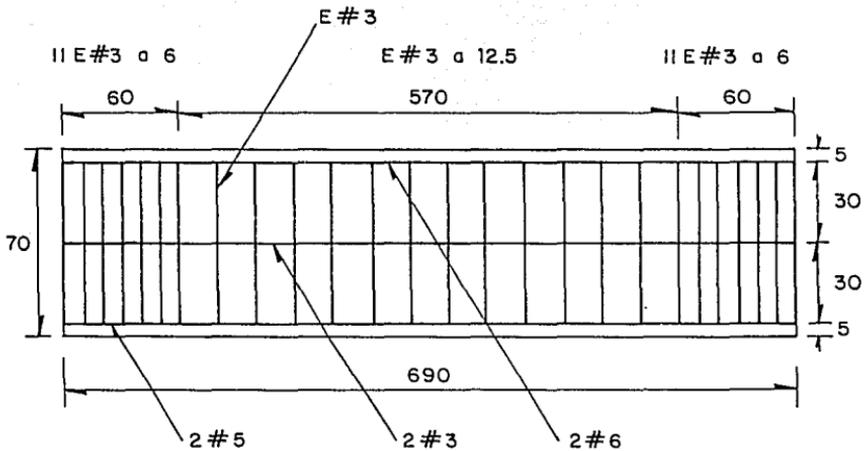
Acotaciones, en cm

141

Diseño de vigas, para nivel de azotea



- ⊕ 2 # 6
- ⊙ 2 # 3
- 2 # 5



Acotaciones, en cm

1-1/2