

RESPUESTA TEÓRICA DE UN EDIFICIO CON AISLADORES DE BASE

Ricardo González Alcorta y Francisco José Noguez López
Instituto de Ingeniería, UNAM, México, DF, México

RESUMEN

Se estudia la respuesta dinámica teórica de una estructura de concreto de 9 niveles provista de aisladores sísmicos en su base. El edificio se encuentra ubicado en la zona de transición de la ciudad de México. Se lleva a cabo un análisis paramétrico de las principales características del dispositivo de aislamiento, con el fin de definir los valores de los parámetros que minimizen la respuesta sísmica de la estructura.

Se encontró que la elección de los parámetros de un sistema de aislamiento de base de tipo histerético depende de las características dinámicas tanto del edificio como de la señal de excitación. Se determinó así mismo, que el aislamiento tiene sus condiciones más favorables para este edificio cuando es sometido a sismos de periodos dominantes cortos.

ABSTRACT

This paper reports on the theoretical dynamic response analysis of a nine-storey base-isolated reinforced concrete building. The building is located in the transition zone of the Mexico City valley. A comparative analysis including main parameters of the base isolation system was made so that the values of the parameters minimize the structural response.

It was found that the selection of these parameters depends on the dynamic features of both the structure and the signal. Finally, it was found that the most suitable structural response was for high-frequency earthquakes.

INTRODUCCIÓN

La mayoría de los códigos de diseño sísmico utilizados en la actualidad especifican una resistencia mínima permisible en edificios bajo cargas estáticas laterales, la cual es generalmente más baja que la fuerza máxima que se podría generar en una estructura puramente elástica durante un sismo moderado. Cuando una estructura diseñada de esta forma es atacada por un sismo pueden producirse deformaciones inelásticas importantes. Así, las prácticas de diseño actuales permiten que la estructura desarrolle articulaciones plásticas en los extremos de las vigas para darle a la estructura un incremento en su flexibilidad y en la capacidad de disipar energía. Sin embargo, tales deformaciones inelásticas de la estructura no sólo causan la fractura de los componentes estructurales, sino que causan también daños secundarios severos y costosos.

El objetivo del aislamiento de base es proveer a una estructura un sistema de aislamiento que restrinja, en lo posible, las deformaciones plásticas a dispositivos especiales y fácilmente reemplazables. Sus elementos básicos son:

- a) Una montura flexible para que el periodo de vibración del sistema total se incremente lo suficiente para reducir su respuesta.
- b) Un amortiguador o disipador de energía para que las deformaciones relativas entre el edificio y la cimentación puedan ser controladas a un nivel práctico de diseño.
- c) Un medio de proveer rigidez bajo cargas de servicio, como las provocadas por el viento y sismos pequeños.

En la ciudad de México, debido a las características propias de su suelo en la zona III (arcillas compresibles con un periodo de vibración propio alrededor de los 2 s), podría resultar un tanto dudosa la efectividad de un sistema de aislamiento en esta zona.

El objetivo de este trabajo es analizar la respuesta teórica no lineal de un edificio de concreto de 9 niveles con y sin la implementación de aisladores sísmicos, al considerar la excitación de 3 acelerogramas con periodos de vibración dominante diferentes. Se analizará, además, el efecto de la interacción suelo-estructura

(ISE) para poder comparar la respuesta dinámica con los modelos que no la consideran.

EL EDIFICIO EN ESTUDIO

Se estudia un edificio de 9 niveles, ubicado en la zona de transición de la ciudad de México, el cual presenta una estructuración a base de marcos de concreto y losa reticular, con muros de mampostería en la zona de elevadores y en los ejes longitudinales de colindancia (fig 1). La dimensiones en planta son de 9.70 por 14.60 m, con una altura en el primer entepiso de 2.85 m, y en los demás de 2.65 m. Su sistema de cimentación está formado por una losa apoyada sobre pilotes de punta. La frecuencia fundamental del sitio donde se ubica el edificio es de 0.88 Hz [1].

Las resistencias nominales de los materiales utilizados son de 4200 kg/cm² para el límite elástico del acero de refuerzo y de 250 kg/cm² para la resistencia a la compresión del concreto. La mampostería utilizada es el tabique rojo recocido, cuyas propiedades mecánicas se obtuvieron de acuerdo a las referencias [2] y [3].

El sistema de aislamiento de base considerado para los análisis es el tipo "Nueva Zelanda" [4]. Este aislador de base está compuesto por un cojinete laminado elastomérico con un corazón de plomo. La función del plomo es primordialmente la de disipar energía, mientras que la flexibilidad lateral es provista por el cojinete laminado de goma (fig 2). El sistema se comporta esencialmente como un amortiguador histerético bilineal.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Este edificio presentó daños considerables en todos los muros de mampostería de la zona de elevadores durante los sismos de septiembre de 1985, sin apreciarse fallas en elementos estructurales (vigas y columnas) ni en cimentación. Se considera que la presencia de pilotes de punta en la cimentación evitó movimientos importantes de la misma.

A partir de este comportamiento, se llevó a cabo el análisis de vibración ambiental del edificio [1]. Se encontró que las frecuencias fundamentales en las direcciones transversal (T) y longitudinal (L) presentan valores de 0.88 y 1.23 Hz, respectivamente. Con esto se advierte que existe una concordancia entre la frecuencia fundamental del terreno (FS=0.88 Hz) con la propia de la estructura en la dirección transversal

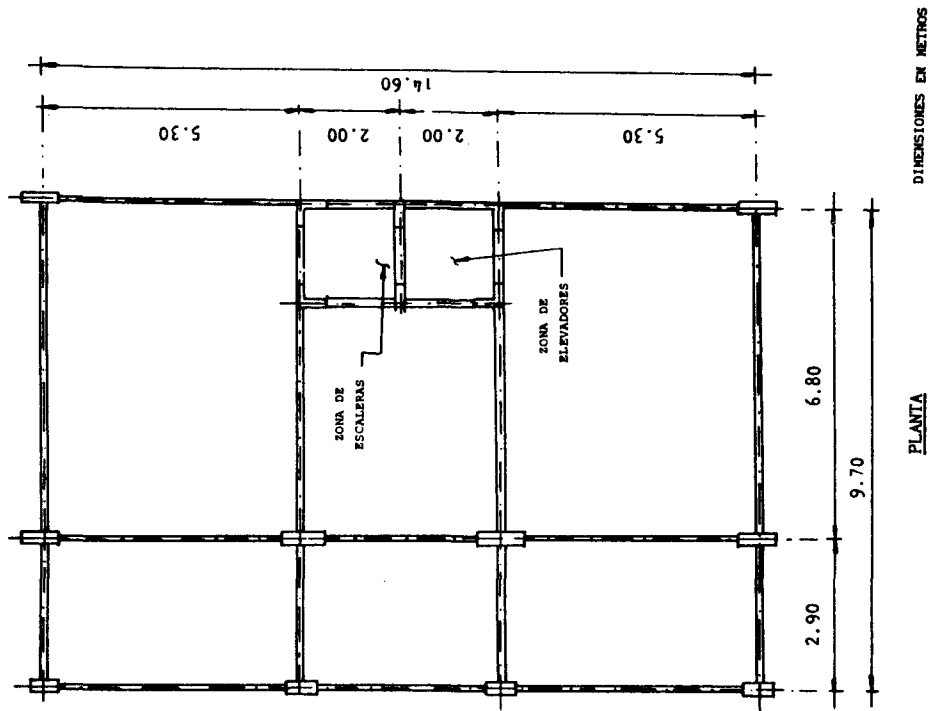


Fig 1 Planta tipo del edificio

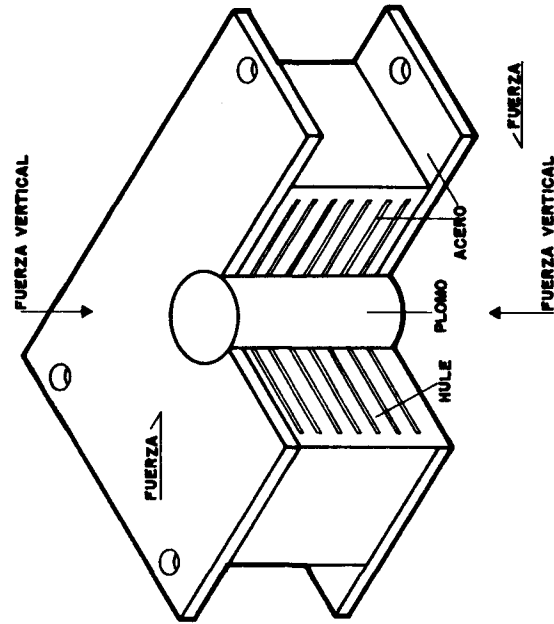


Fig 2 Sistema de aislamiento utilizado en el edificio

($F_T = 0.88$ Hz), lo cual podría, en primera instancia, explicar el daño severo en los muros de mampostería del cubo de elevadores. De aquí que resulte interesante un estudio considerando el aislamiento de base para este edificio.

MODELAJE MATEMÁTICO

Para el desarrollo de los modelos matemáticos tridimensionales del edificio se utilizó el programa ETABS [5]. En la fig 3 se puede ver la representación del modelo 3-D hecha por el programa. El modelo matemático realizado tuvo como objetivo:

- Obtener los periodos de vibración y las formas modales tridimensionales del edificio.
- Correlacionar las características dinámicas del modelo matemático del edificio con los resultados experimentales obtenidos con el método de vibración ambiental.
- Servir de base para la elaboración de los modelos de marco plano equivalentes que sustituirían posteriormente al modelo tridimensional y serían analizados en el programa DRAIN-2D [6], con el fin de obtener su respuesta sísmica.

Para la realización de los modelos de marco plano equivalentes se seleccionó el marco "M" ubicado en la dirección transversal por ser esta dirección la más crítica de la estructura (fig 3), como se ha establecido anteriormente. Se observó, en general, una buena correlación entre los modelos planos generados con el ETABS con los modelos generados en el DRAIN-2D; así como entre el modelo tridimensional y los resultados experimentales obtenidos en el edificio real mediante vibración ambiental. Los valores de los periodos obtenidos con ambos programas se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. **Periodos fundamentales de los modelos realizados**

Modelo	Periodos fundamentales (s)				
	Experimental	E T A B S		D R A I N - 2 D	
No aislado	1.14	1.00		1.04	
No aislado con ISE	-	1.45		1.46	
Aislado	-	K1	K2	K1	K2
		1.14	2.96	1.18	3.06
Aislado con ISE	-	1.55	3.12	1.56	3.14

SISTEMA DE AISLADORES

Los parámetros principales de cualquier sistema de aislamiento de base de tipo histerético bilineal son: rigidez elástica (K_1), fuerza de fluencia (F) y rigidez postfluencia (K_2), asociados a esfuerzos de cortante puro. Estos parámetros suelen expresarse como fracciones del peso total de la estructura [7].

La elección de los valores para los parámetros de aislamiento involucra variables tales como las características dinámicas de la estructura considerada con base fija y la naturaleza de la excitación a que pueda ser sometida. Es por esto que se decidió dar 3 valores diferentes a cada uno de los tres parámetros del aislador, dando como resultado una combinación de 27 diferentes modelos aislados en su base. Los valores propuestos tuvieron como tope mínimo las cantidades de 0.025 W para F, 2.5 W para K_1 y 0.5 W para K_2 , ya que valores más pequeños podrían ocasionar desplazamientos demasiado grandes en el aislador, además de que dicho sistema podría fluir bajo cargas pequeñas, como las provocadas por el viento o sismos pequeños, con la consecuente fatiga prematura de sus componentes [7].

SISMOS DE ANÁLISIS

Se sometieron todos los modelos a tres excitaciones con diferentes contenidos de frecuencia: sismo El Centro, sismo SCT y sismo Ebro.

El sismo El Centro es el registro de las aceleraciones obtenidas del sismo del 18 de mayo de 1940 en El Centro California, en su componente horizontal de Norte a Sur, aproximadamente a 4 millas de la falla que lo originó, con una magnitud de 7.1 [8]. La duración de la fase intensa es aproximadamente de 12 segundos.

El sismo SCT es el registro de las aceleraciones obtenidas en un sitio cercano al edificio de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes en la ciudad de México, del sismo Michoacán-Guerrero en su componente horizontal de Este a Oeste. La duración de la fase intensa es de aproximadamente 60 segundos.

El sismo Ebro es un sismo calculado mediante un programa llamado SHAKE [9], el cual toma en cuenta la estratigrafía del lugar para filtrar una señal desde una capa dura hasta la superficie del terreno pasando por todos los estratos. La señal de origen fue la registrada en la Ciudad Universitaria de la UNAM del

sismo del 19 de septiembre de 1985. Cabe señalar que se obtuvo una muy buena correlación entre el periodo del sitio calculado y el periodo obtenido de las pruebas experimentales (1.15 s y 1.14 s, respectivamente) [10].

En la fig 4 se muestran estos tres acelerogramas con sus respectivos espectros de respuesta y de Fourier.

ELECCIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO

Se decidió analizar las características de aislamiento con el fin de encontrar el modelo más conveniente para el lugar donde se encuentra desplantado el edificio. Los valores que tomaron cada uno de los parámetros del sistema de aislamiento fueron:

$$\begin{aligned} K1 &= 2.5 \text{ W, } 5.0 \text{ W y } 10.0 \text{ W [T/m]} \\ K2 &= 0.5 \text{ W, } 1.0 \text{ W y } 2.0 \text{ W [T/m]} \\ F &= 0.025 \text{ W, } 0.05 \text{ W y } 0.1 \text{ W [T]} \end{aligned}$$

Los aspectos de la respuesta de los modelos que se tomaron en cuenta para la elección de los parámetros de aislamiento fueron:

- Desplazamiento máximo del aislador
- Aceleración máxima en el aislador
- Cortante máximo en la base
- Momento de volteo máximo en la base
- Demanda de ductilidad en el aislador y
- Demanda de ductilidad en la estructura

Los resultados comparativos de la respuesta de todos los modelos se presentan en la fig 5. A partir de estas gráficas se puede concluir que:

- K1 - Influye de manera inversa en el desplazamiento máximo del aislador (fig 5a, 5b, 5c).
- Al adoptar un valor alto en combinación con valores pequeños de K2, se logra un aumento en la demanda de ductilidad en el aislador, con la consiguiente disipación de energía (fig 5d, 5e, 5f).
- K2 - Influye en el cortante, momento de volteo y en la demanda de ductilidad en el aislador, teniendo mejor desempeño del sistema de aislamiento con la combinación de valores pequeños tanto para este parámetro como para F (fig 5d a 5l).

- Afecta al valor de la aceleración máxima en el aislador, siempre y cuando exista un valor de F lo suficientemente pequeño para que el aislador fluya (fig 5m, 5n, 5o).
 - Se observa la conveniencia de un valor pequeño de este parámetro para lograr una reducción considerable en la demanda de ductilidad en la estructura (fig 5p, 5q, 5r).
- F - Además de la influencia mencionada anteriormente, se observó que además influye ligeramente en la demanda de ductilidad de los niveles inferiores de la estructura (fig 5s, 5t, 5u).

En base a las observaciones anteriores, se llegó a los valores de $K1 = 10 \text{ W [T/m]}$, $K2 = 0.5 \text{ W [T/m]}$ y $F = 0.05 \text{ W [T]}$, para los cuales se observó un mejor comportamiento de la respuesta del aislador y del edificio.

ANÁLISIS DE LA RESPUESTA SÍSMICA

Los tópicos de la respuesta estructural considerados para su análisis son:

- Aceleración absoluta tanto en la base como en la azotea del edificio
- Desplazamiento absoluto máximo por nivel
- Cortante máximo de entrepiso
- Momento de volteo máximo por nivel
- Formación de articulaciones plásticas
- Demanda de ductilidad por entrepiso y
- Demanda de energía histerética por entrepiso

Sismo El Centro

Aceleraciones absolutas

En las figs 6 y 7 se puede observar que en la respuesta de la azotea existen aceleraciones mayores en el modelo no aislado que en el aislado, lo cual indica que el aislamiento de base redujo la respuesta de la estructura en este sentido. Esto se puede observar en la función de transferencia entre los espectros de Fourier de azotea y los espectros de la base. Este resultado era esperado ya que la naturaleza del sismo El Centro es de un periodo dominante bajo, situación ideal para un buen desempeño de un sistema de aislamiento de base. Hay que destacar que las respuestas que aparecen en estas figuras son de aceleraciones absolutas, por lo que

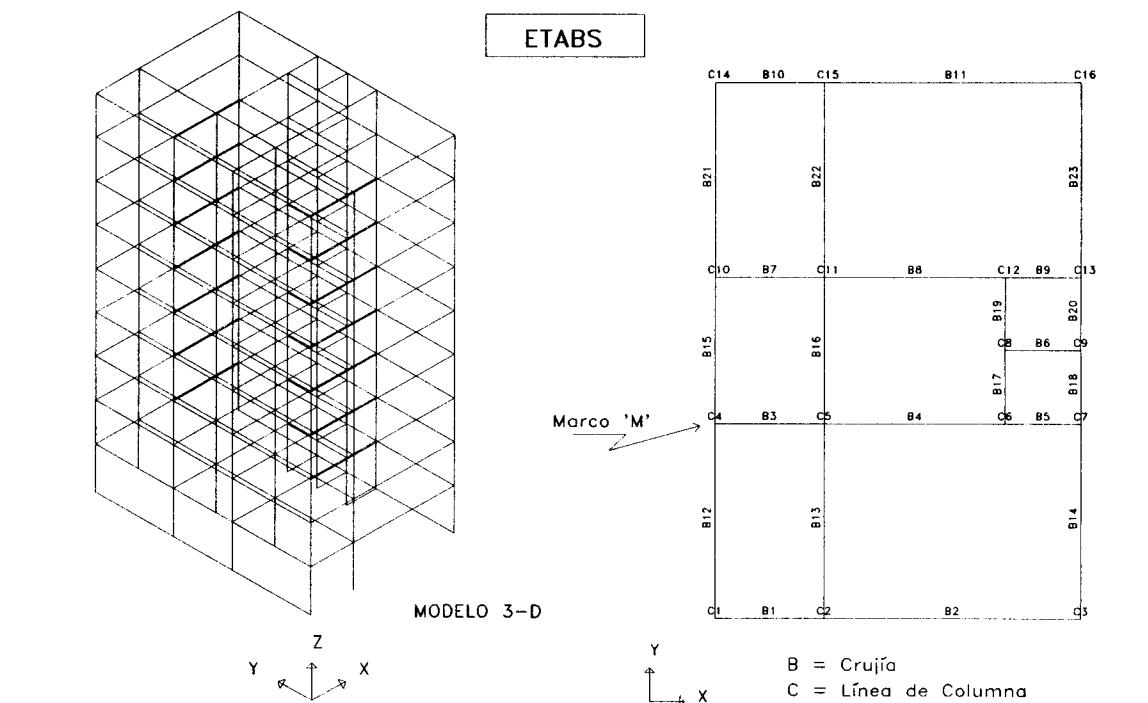


Fig 3 Elevación del edificio según modelaje del programa ETABS

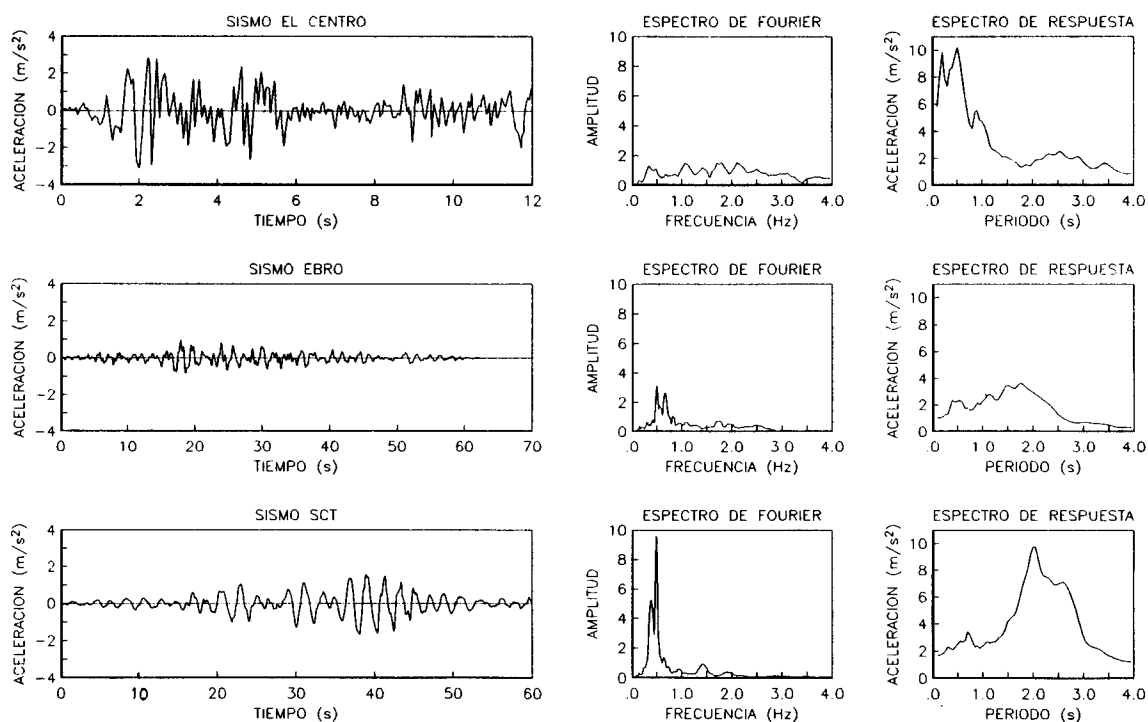


Fig 4 Acelerogramas, espectros de Fourier y espectros de respuesta de los sismos en estudio

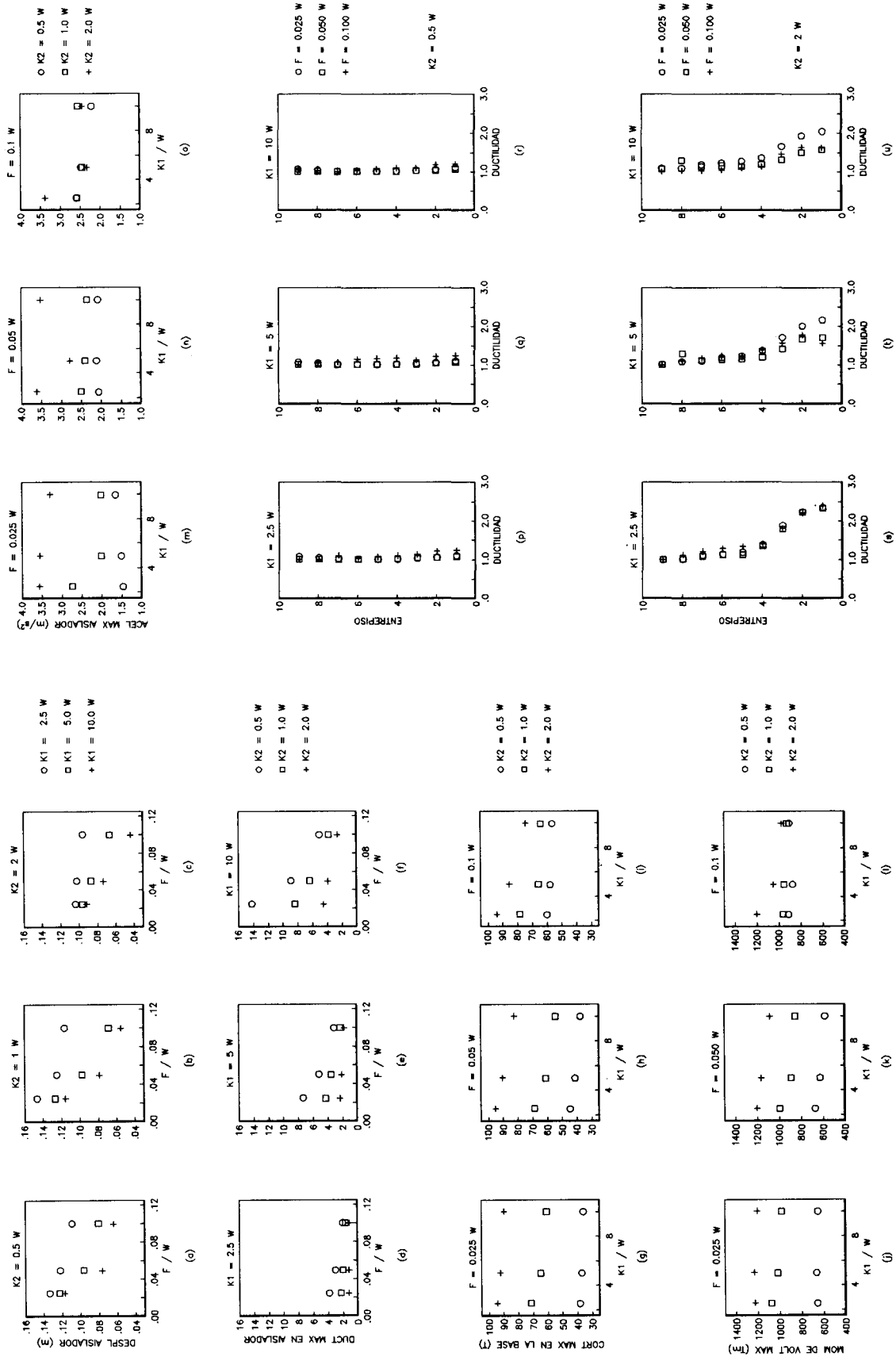


Fig 5 Influencia de los parámetros del sistema de aislamiento en la respuesta

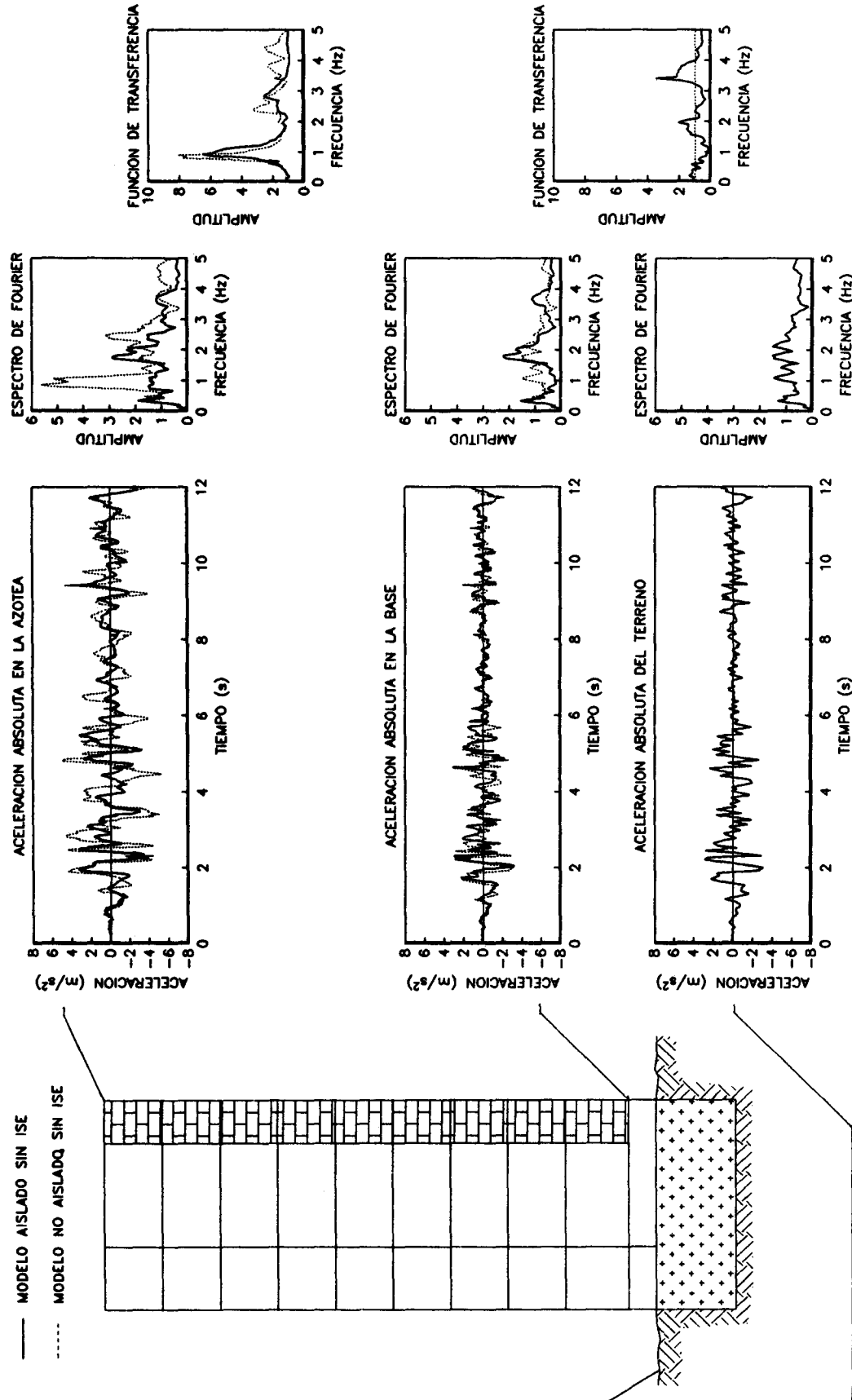


Fig 6 Respuesta de la estructura con el sismo El Centro

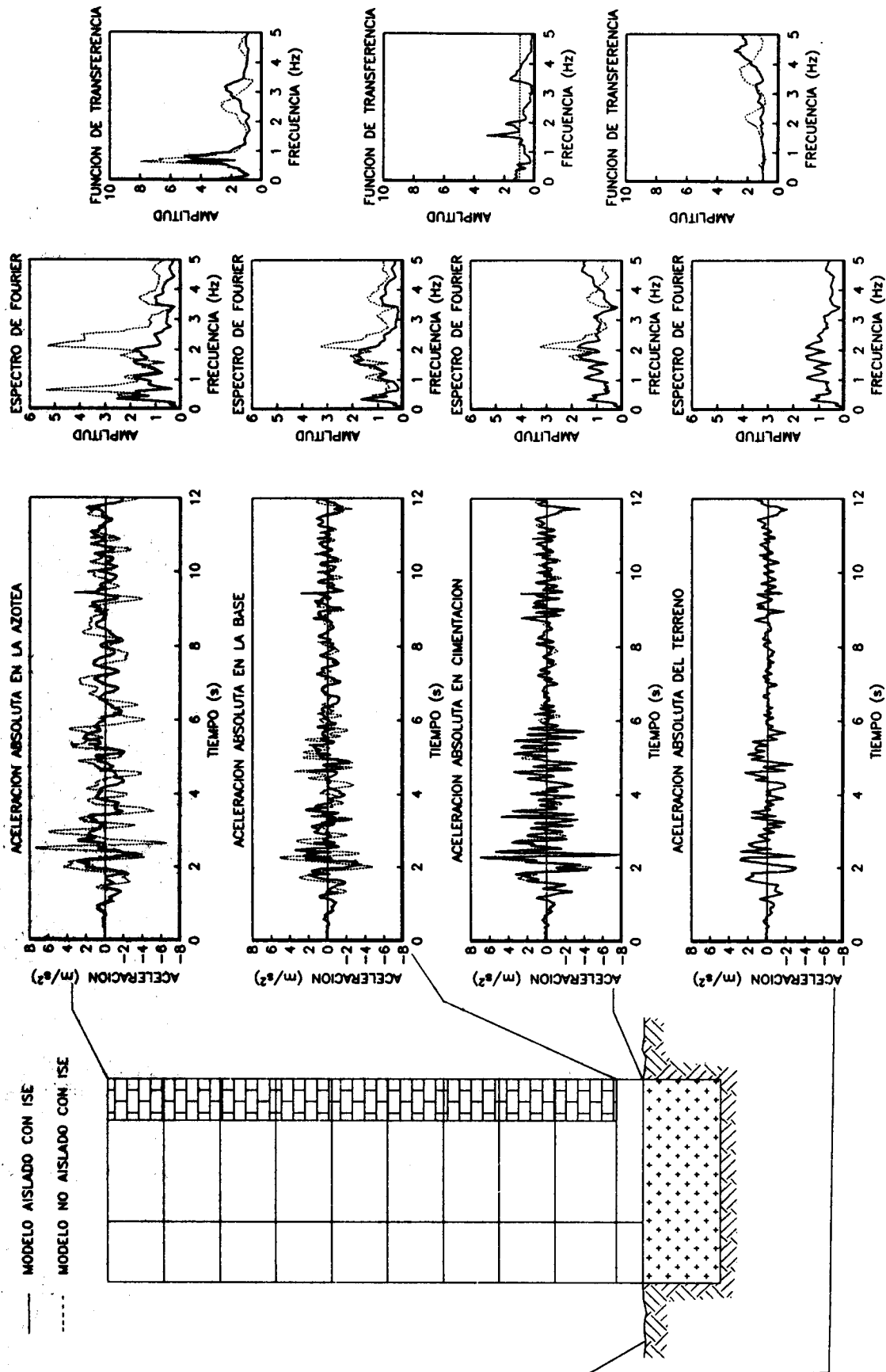


Fig 7 Respuesta de la estructura con el sismo El Centro

los espectros de Fourier reflejan los contenidos de frecuencias asociadas a la excitación.

En la fig 8, donde se muestra el efecto ISE en el modelo no aislado, se puede observar en la función de transferencia entre los espectros de Fourier de la azotea y la cimentación un corrimiento en la frecuencia de las primeras crestas. Este corrimiento es producto de la flexibilización de la base del modelo que considera el efecto ISE.

En la fig 9, en donde se analiza el efecto ISE en el modelo aislado, puede observarse que el efecto ISE reduce ligeramente la amplitud de las aceleraciones que aparecen en la respuesta de la azotea.

Elementos mecánicos y ductilidad

En la fig 10 puede observarse que el aislamiento redujo considerablemente el cortante, momento de volteo, demanda de ductilidad y demanda energía histerética de la estructura. Sin embargo, puede apreciarse que los desplazamientos totales que sufrió la estructura aislada fueron mayores que los que experimentó la estructura no aislada, con un mayor desplazamiento asociado al sistema de aislamiento. El efecto ISE redujo la respuesta de los modelos aislado y no aislado debido a la introducción de flexibilidad adicional en la base de la estructura (lo cual es favorable para un sismo de periodo dominante pequeño).

Formación de articulaciones plásticas

Puede observarse en la fig 11 que para el sismo El Centro el aislamiento sísmico redujo considerablemente la formación de articulaciones plásticas tanto para el modelo que considera el efecto ISE como para el que no lo considera. El factor de daño (FD) utilizado se explica en las referencias [11] y [12].

El efecto ISE introdujo una reducción adicional en la formación de articulaciones plásticas ocurridas tanto en el modelo no aislado como en el aislado.

Sismo Ebro

Aceleraciones absolutas

La fig 12 compara la respuesta en aceleración de los modelos aislado y no aislado, sin el efecto ISE, donde se puede observar que en ambos modelos se presentan aceleraciones muy similares. En este grupo de figuras

puede apreciarse que las primeras crestas que aparecen en los espectros de Fourier, las cuales están asociadas a las frecuencias propias del sismo, se vieron aumentadas, lo que muestra la concordancia entre las frecuencias de la estructura y las de la señal excitadora.

En la fig 13, que compara las respuestas al incluir el efecto ISE, se puede apreciar que el modelo no aislado tuvo aceleraciones mayores que el modelo aislado. Esto se debe a que el modelo no aislado acercó más su frecuencia de vibración a la del sismo, con la introducción de la flexibilidad adicional que le da el efecto ISE.

En las fig 14 y 15, donde se muestra el efecto ISE para cada modelo (aislado y no aislado), se puede observar en la función de transferencia entre los espectros de Fourier de azotea y la cimentación un corrimiento en la frecuencia de las primeras crestas producto de la flexibilización de la base del modelo que considera el efecto ISE.

La fig 16 muestra la respuesta de la azotea del modelo aislado, sin el efecto ISE, analizándola para seis intervalos de tiempo. En el primer intervalo (0-6s) se aprecia que el aislador aún no ha disipado energía. En los siguientes 4 segmentos (7-58s) se observa que el aislador ha entrado ya en la rigidez postfluencia, con la consiguiente disipación de energía. Cabe mencionar que existe correlación entre la amplitud de las crestas asociadas a la rigidez postfluencia del aislador en el espectro de Fourier y la energía histerética disipada en los intervalos de tiempo. En el último segmento se puede apreciar el mismo fenómeno que ocurrió en el primer intervalo. Este mismo fenómeno se presentó en todos los modelos aislados independientemente de la excitación a que fueron sometidos.

Elementos mecánicos y ductilidad

En la fig 17 puede observarse que el aislamiento redujo considerablemente la respuesta del edificio en lo que respecta a momentos de volteo, cortantes de entrepiso, demandas de ductilidad y de energía histerética. Sin embargo, la respuesta en desplazamientos totales del edificio aislado resultó ser mayor que la del edificio sin aislamiento, excepto para los modelos que consideran el efecto ISE, apreciándose mayores desplazamientos totales en los niveles superiores del edificio no aislado. El efecto ISE, en el modelo aislado, redujo ligeramente la respuesta de

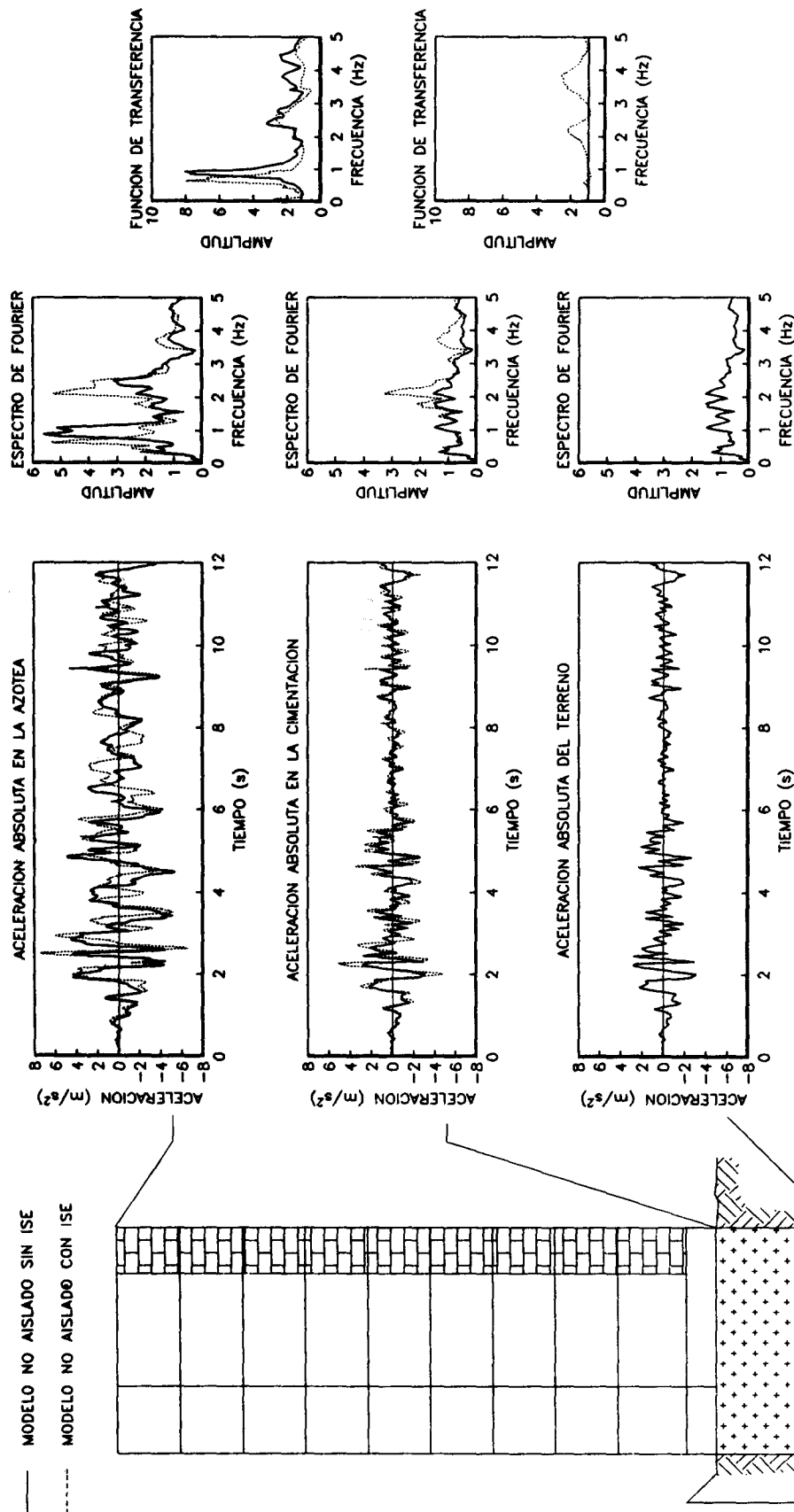


Fig 8 Respuesta de la estructura con el sismo El Centro

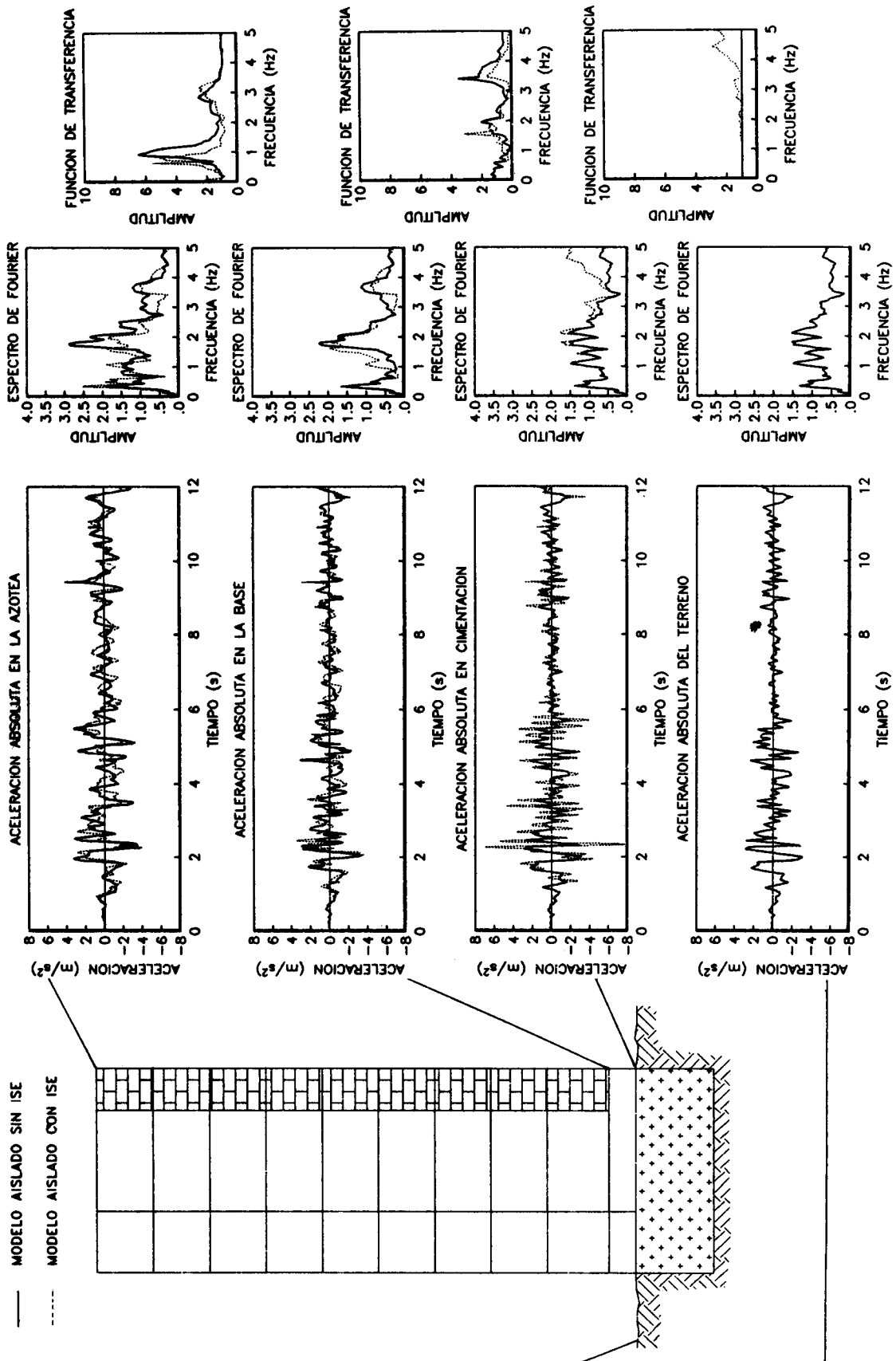


Fig 9 Respuesta de la estructura con el sismo El Centro

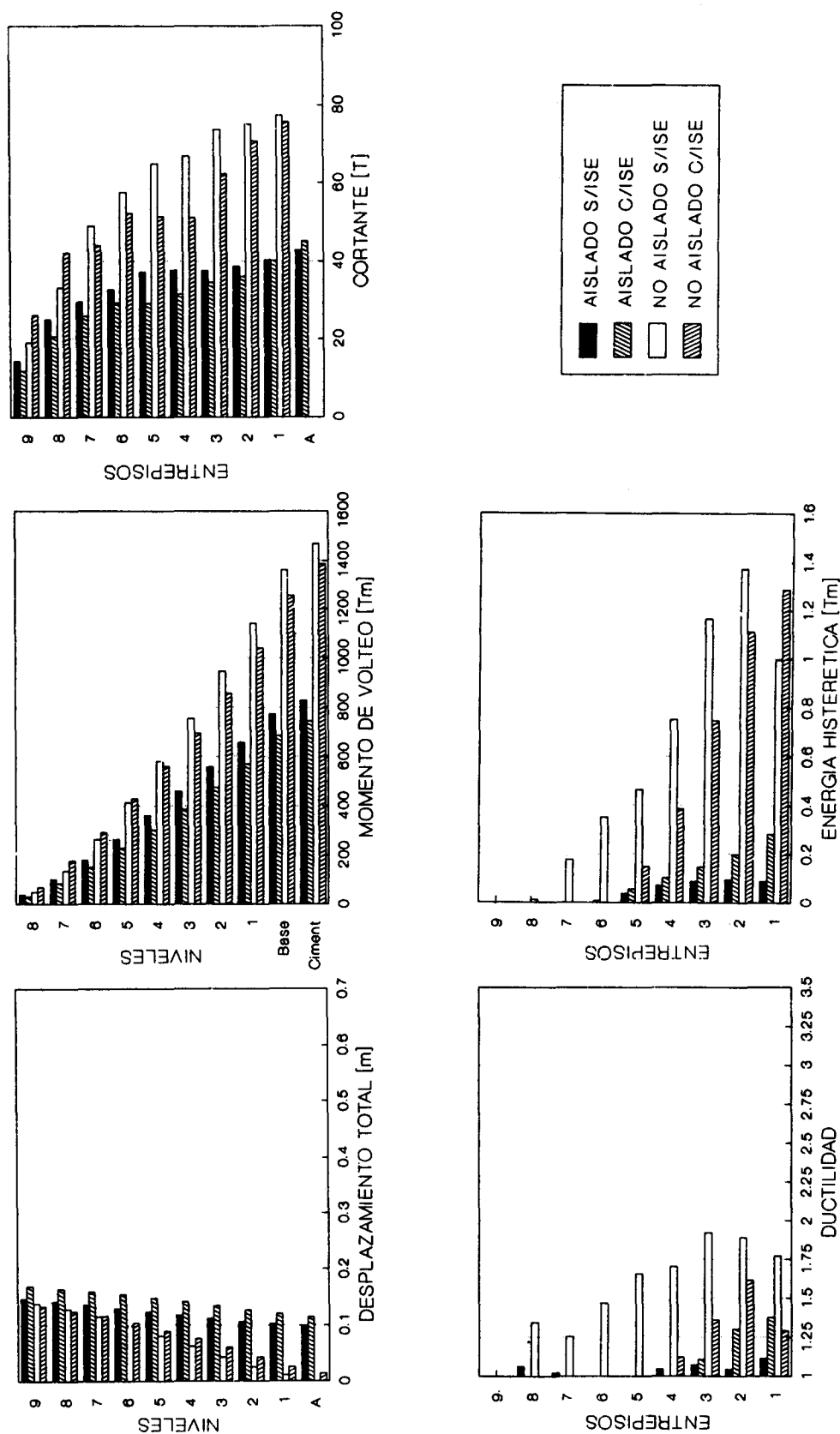
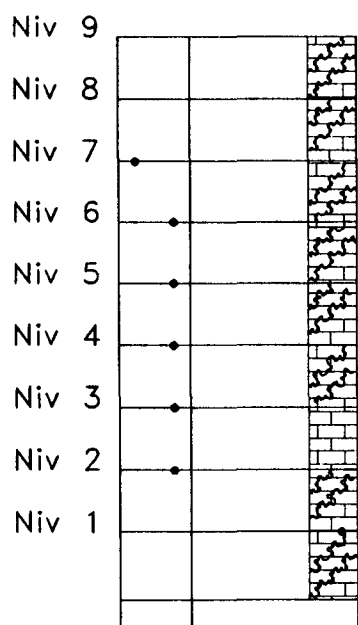
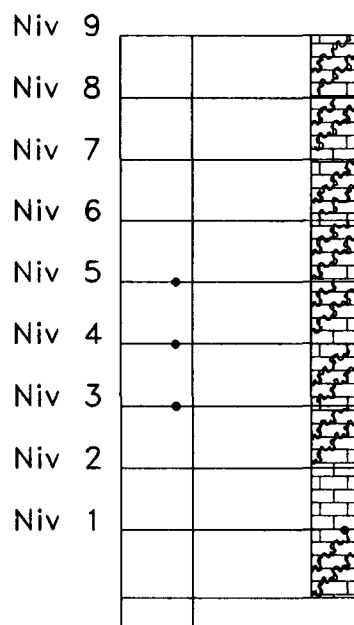


Fig 10 Envolventes de respuesta para el sismo El Centro



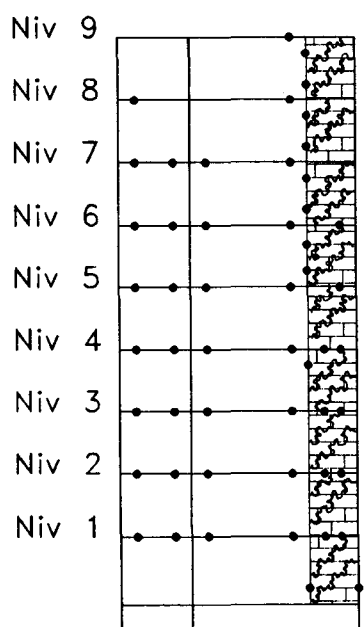
AISLADO SIN ISE

FD = 11 %



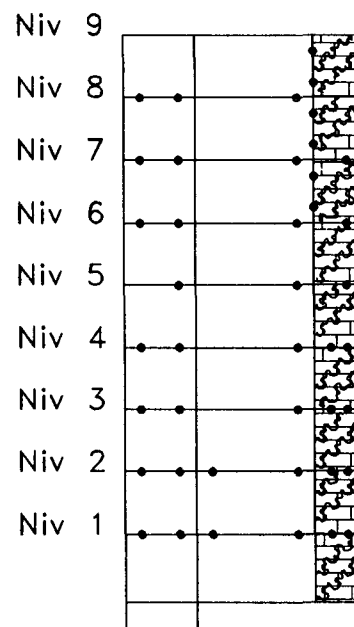
AISLADO CON ISE

FD = 6 %



NO AISLADO SIN ISE

FD = 48 %



NO AISLADO CON ISE

FD = 43 %

Fig 11 Formación de articulaciones plásticas con el sismo El Centro

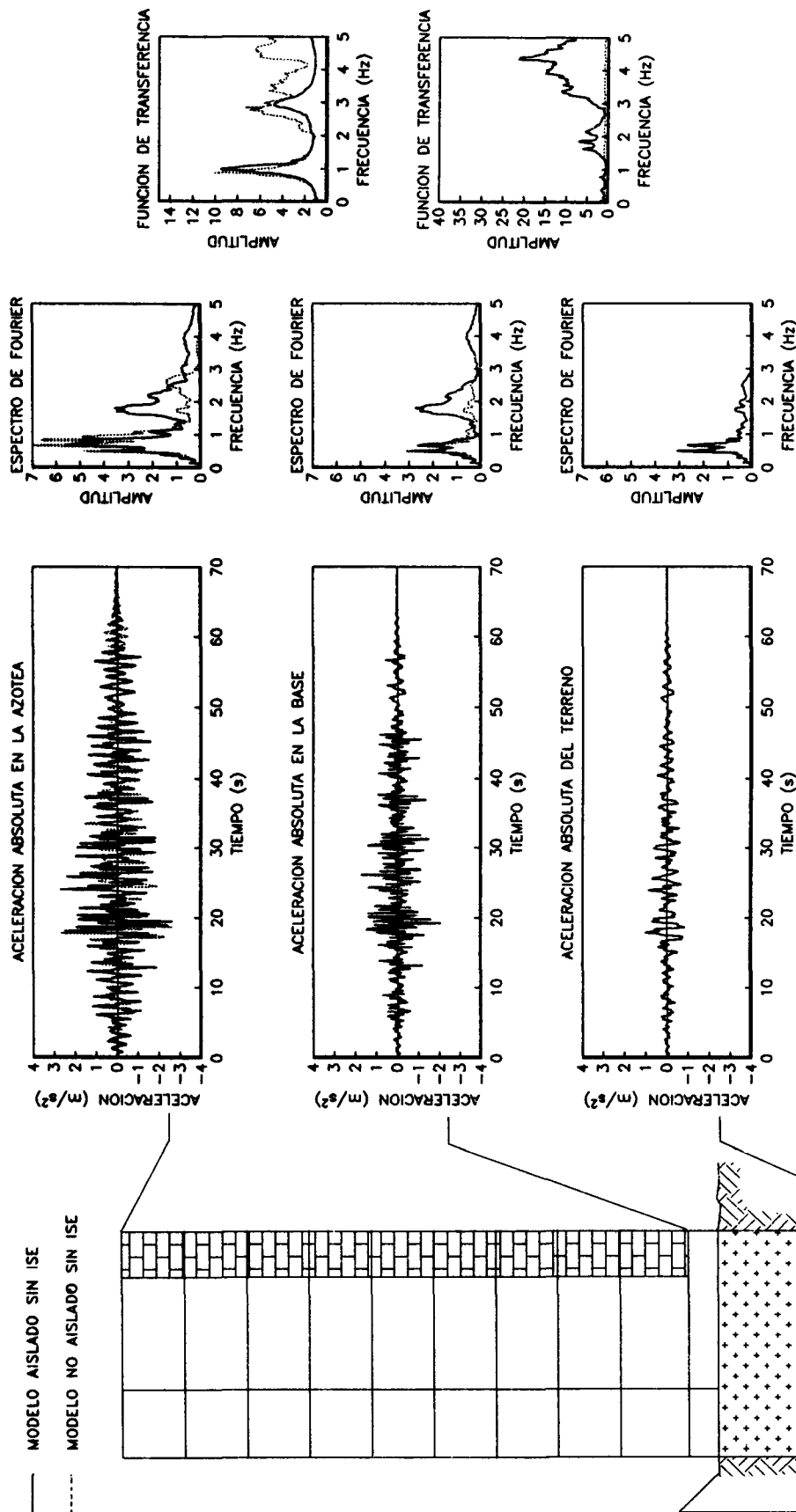


Fig 12 Respuesta de la estructura con el sismo Ebro

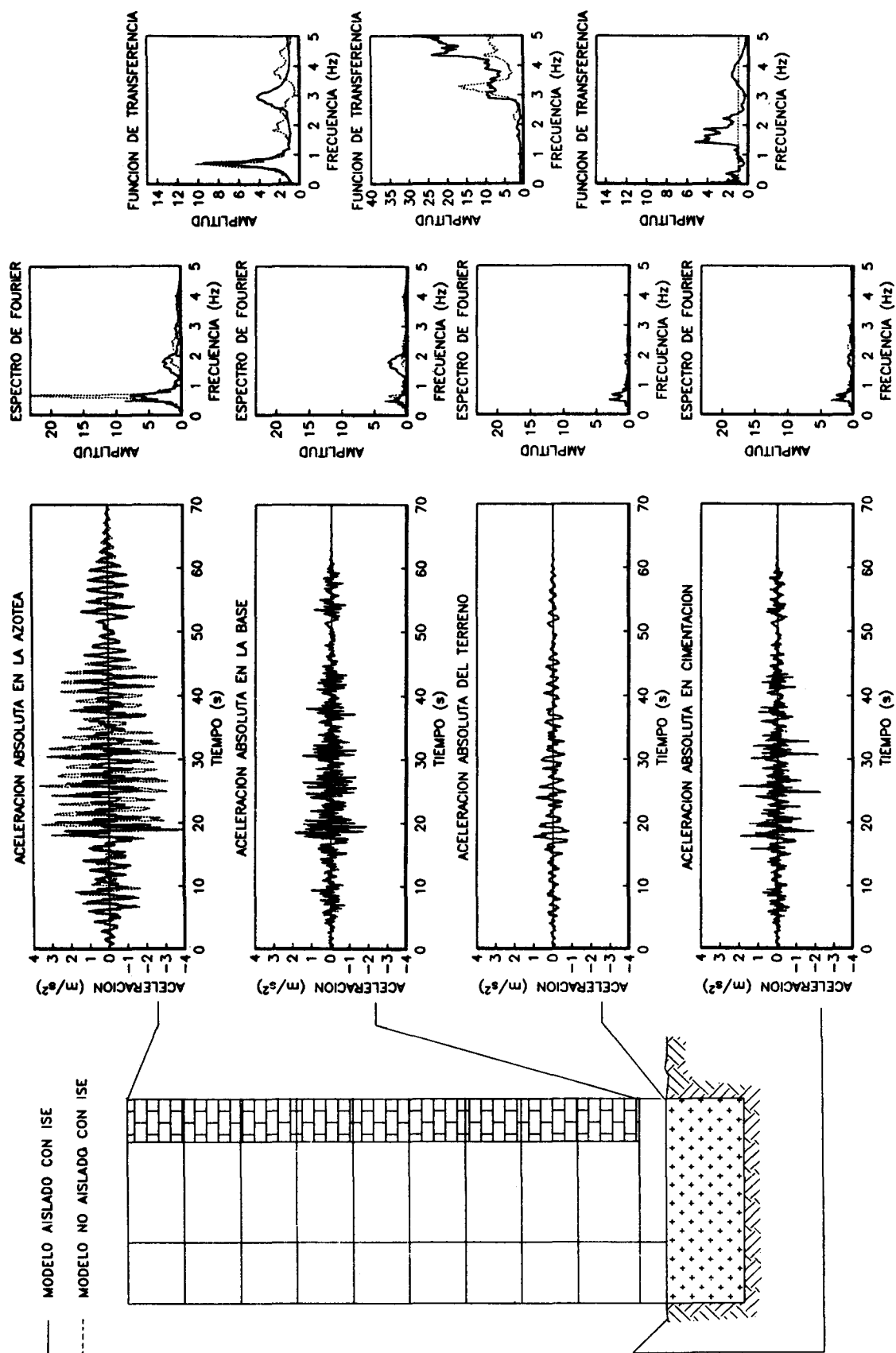


Fig 13 Respuesta de la estructura con el sismo Ebro

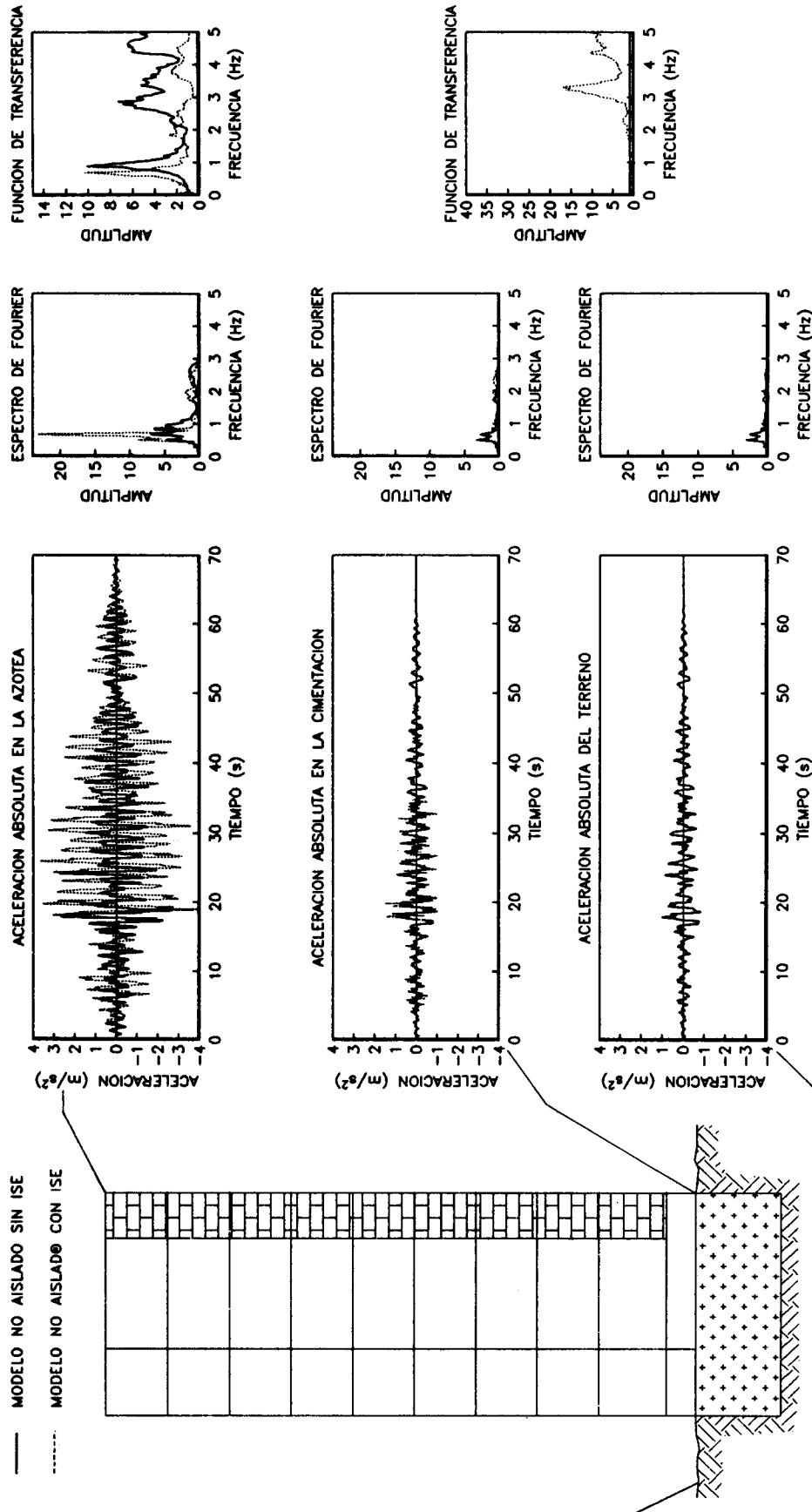


Fig 14 Respuesta de la estructura con el sismo Ebro

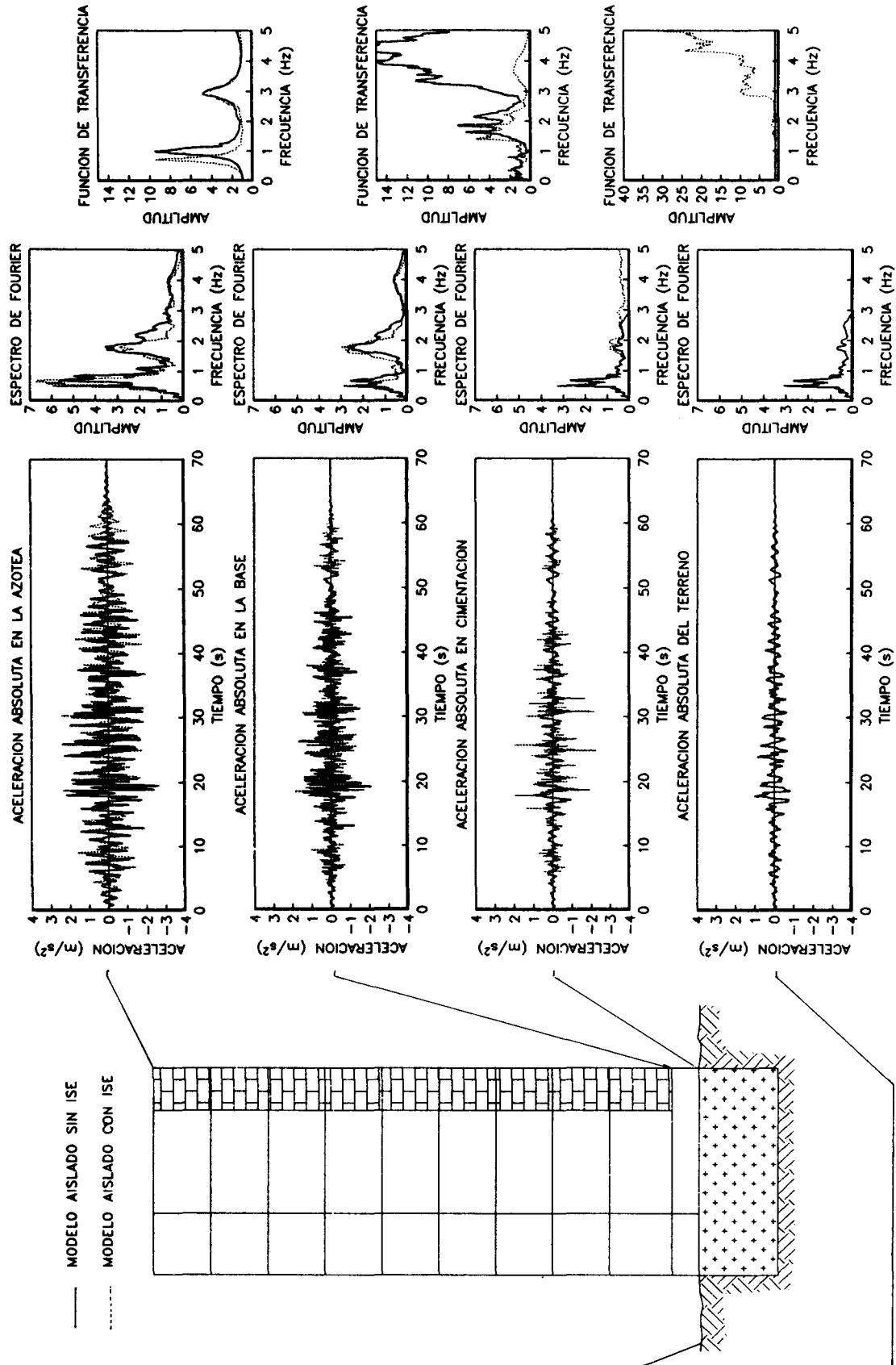


Fig 15 Respuesta de la estructura con el sismo Ebro

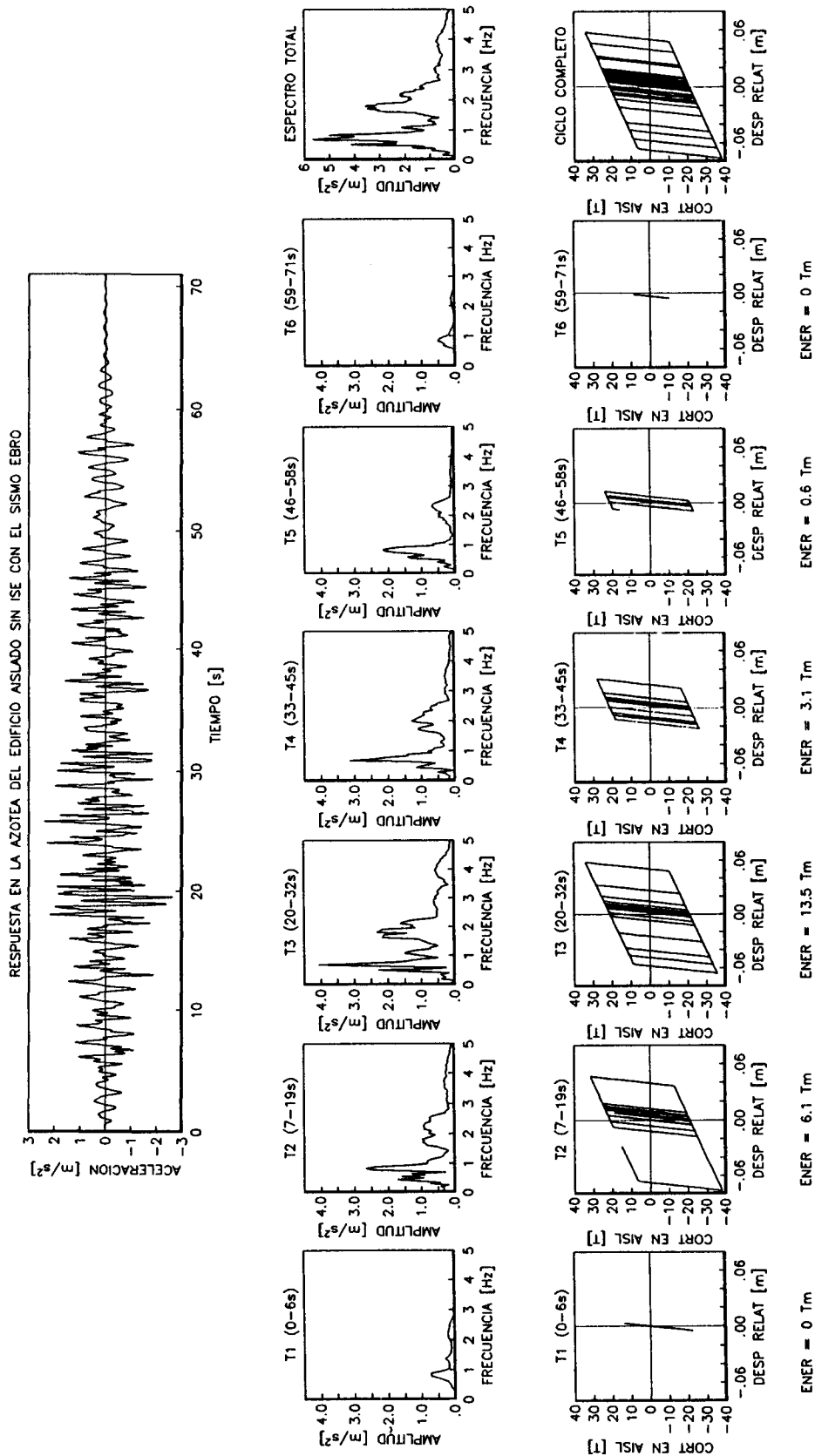


Fig 16 Respuesta de la azotea del modelo aislado sin el efecto ISE con el sismo Ebro

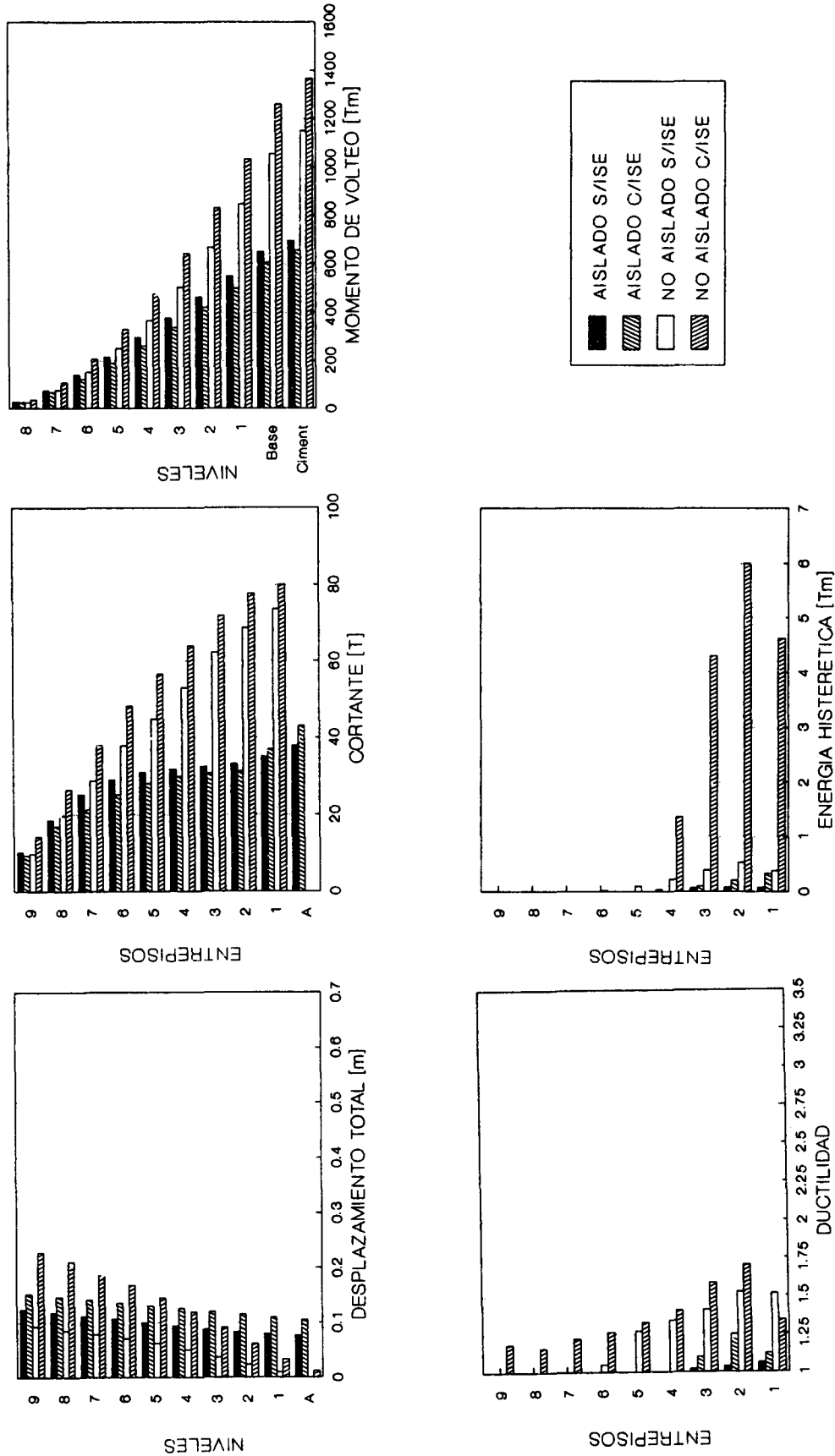


Fig 17 Envolturas de respuesta para el sismo Ebro

este modelo. Sin embargo, en el modelo no aislado hizo incrementar su respuesta considerablemente, sobre todo en las demandas de energía histerética.

Formación de articulaciones plásticas

En la fig 18 se observa que el aislamiento redujo considerablemente la formación de articulaciones plásticas, logrando que fallaran sólo seis de los nueve muros de mampostería, a comparación de los modelos no aislados en los cuales fluyeron casi todos sus muros. El efecto ISE redujo la formación de articulaciones plásticas en el modelo aislado, mientras que en el modelo no aislado provocó un incremento en la formación de éstas.

Resulta importante mencionar que el comportamiento del modelo no aislado sin ISE tuvo una notable correlación con el comportamiento real del edificio durante los sismos de 1985.

Sismo SCT

Aceleraciones absolutas

Se observa en las figs 19 a 22 que la respuesta en aceleraciones se vio incrementada debido a las características dinámicas de la señal considerada. El efecto ISE incrementó significativamente las aceleraciones en los modelos que lo consideraron.

Elementos mecánicos y ductilidad

En la fig 23 puede verse que ahora el aislamiento produjo resultados más desfavorables en la respuesta de los modelos que el considerarlos sin él. Se puede

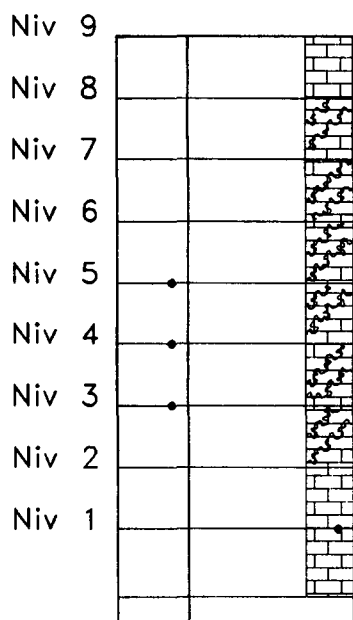
observar que el efecto ISE fue desfavorable en ambos modelos llegando a ser crítico al incluirse en el modelo no aislado, en el cual se observa una demanda de energía histerética, en los 4 primeros entresijos, mucho mayor que en los demás modelos.

Formación de articulaciones plásticas

En la fig 24 se puede observar, confirmando lo mencionado en el inciso anterior, que el aislamiento produjo mayores articulaciones plásticas en el modelo que lo consideró que en el modelo no aislado (ambos sin el efecto ISE). Se puede observar, también, que el efecto ISE para ambos modelos (aislado y no aislado) produjo mayores articulaciones plásticas llegando a ser crítico en el modelo no aislado el cual alcanzó un factor de daño del 57 por ciento.

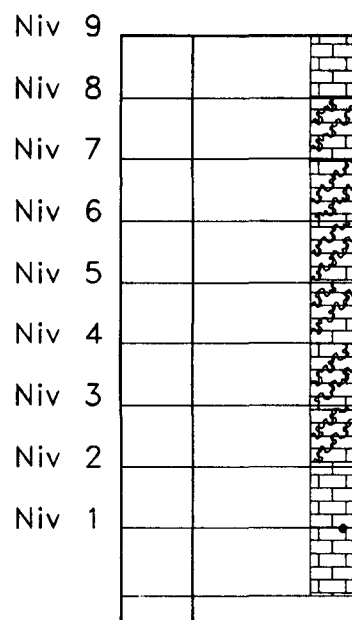
Se puede observar en la fig 25 que la demanda de energía histerética en los aisladores cuando fueron excitados con el sismo SCT es notablemente mayor que las demandas para los otros sismos. Esto comprueba que el aislamiento de base para regiones con sismos de periodo alto no es eficiente, ya que a pesar de haber disipado esa cantidad de energía tan grande, el modelo aislado tuvo una respuesta mayor que el modelo no aislado.

Lo anterior puede explicar el que el modelo no aislado, con el efecto de interacción suelo-estructura, haya tenido demandas tan altas de demanda de energía histerética en los niveles inferiores, ya que lo que produce el efecto ISE es un fenómeno parecido al aislamiento de base, sólo que sin el mecanismo disipador de energía, por lo que esta energía se tuvo que disipar en la estructura misma.



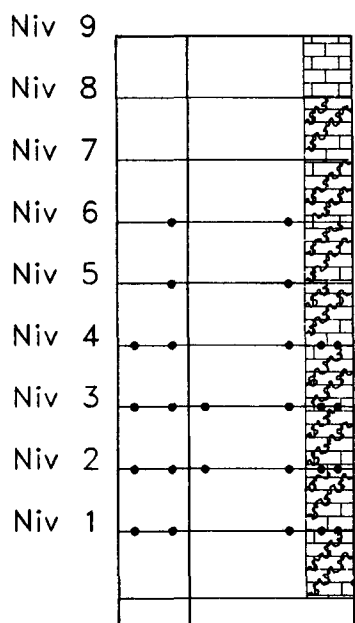
AISLADO SIN ISE

FD = 6 %



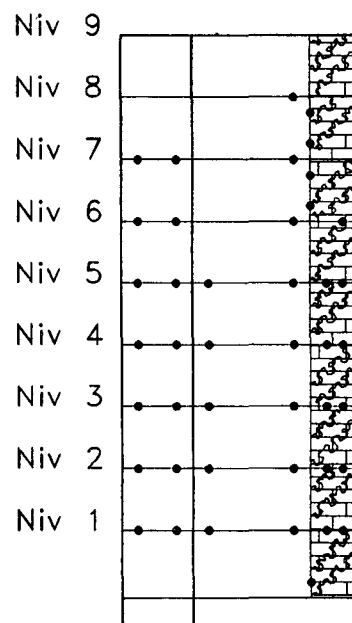
AISLADO CON ISE

FD = 2 %



NO AISLADO SIN ISE

FD = 27 %



NO AISLADO CON ISE

FD = 40 %

Fig 18 Formación de articulaciones plásticas con el sismo Ebro

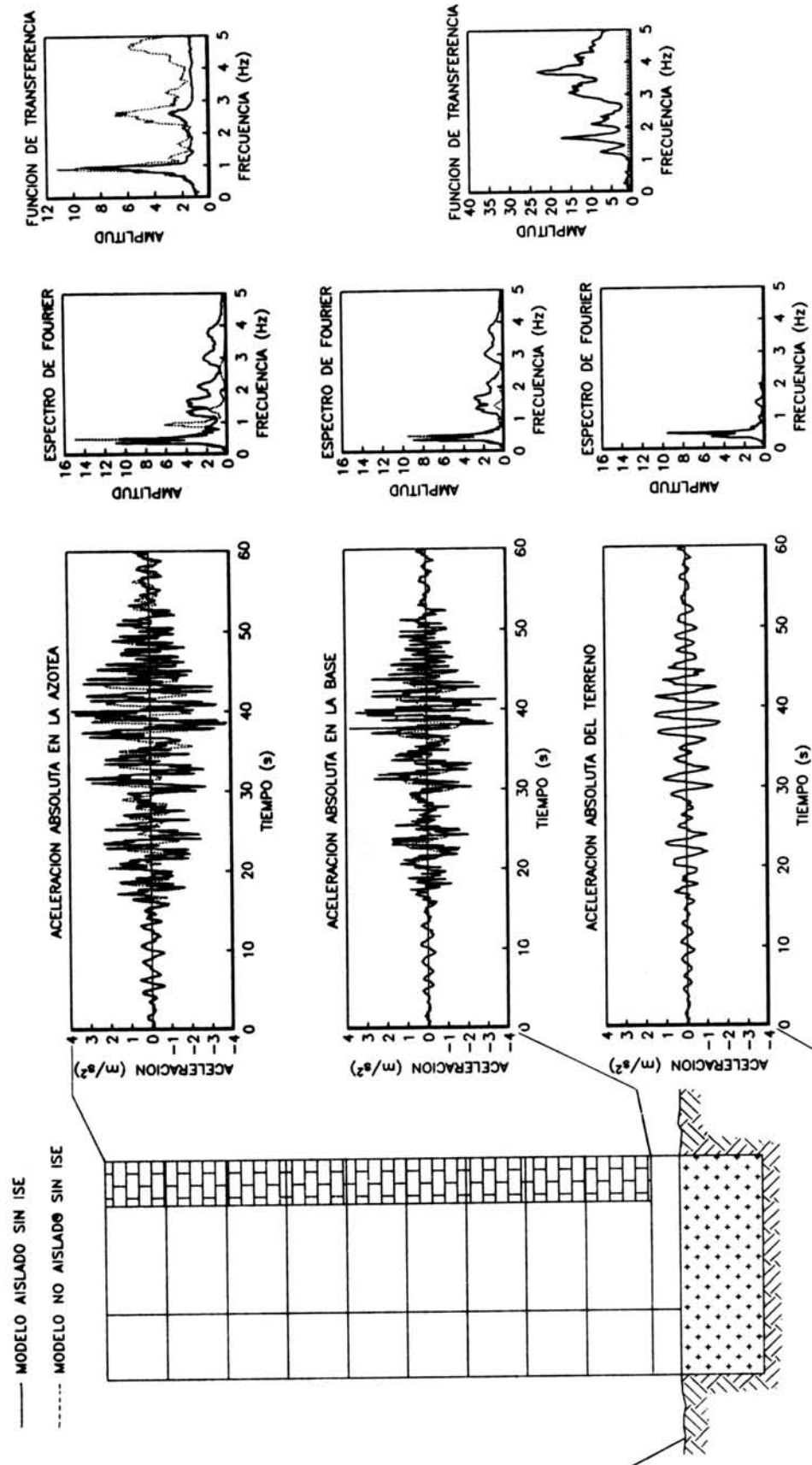


Fig 19 Respuesta de la estructura con el sismo SCT

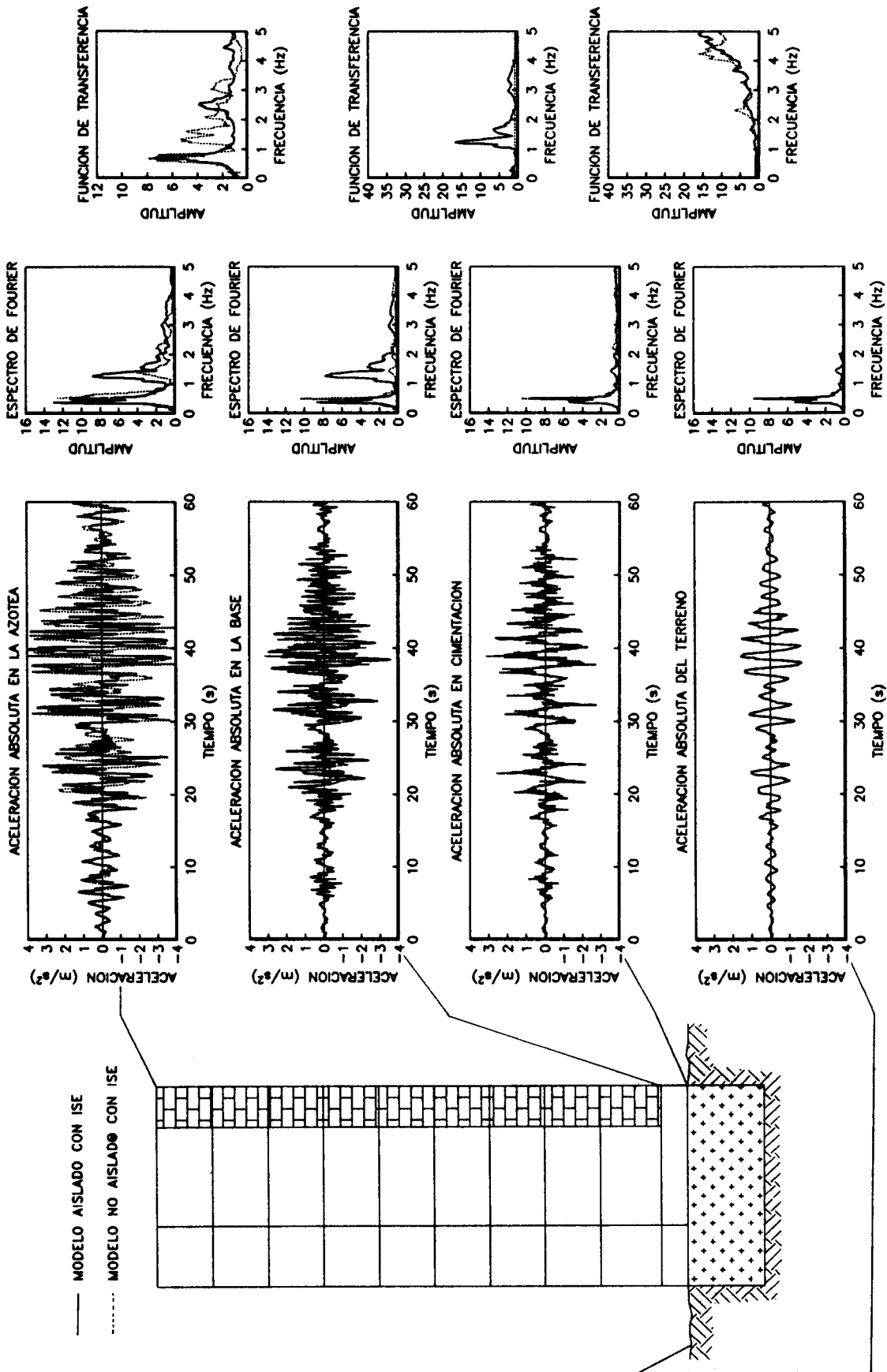


Fig 20 Respuesta de la estructura con el sismo SCT

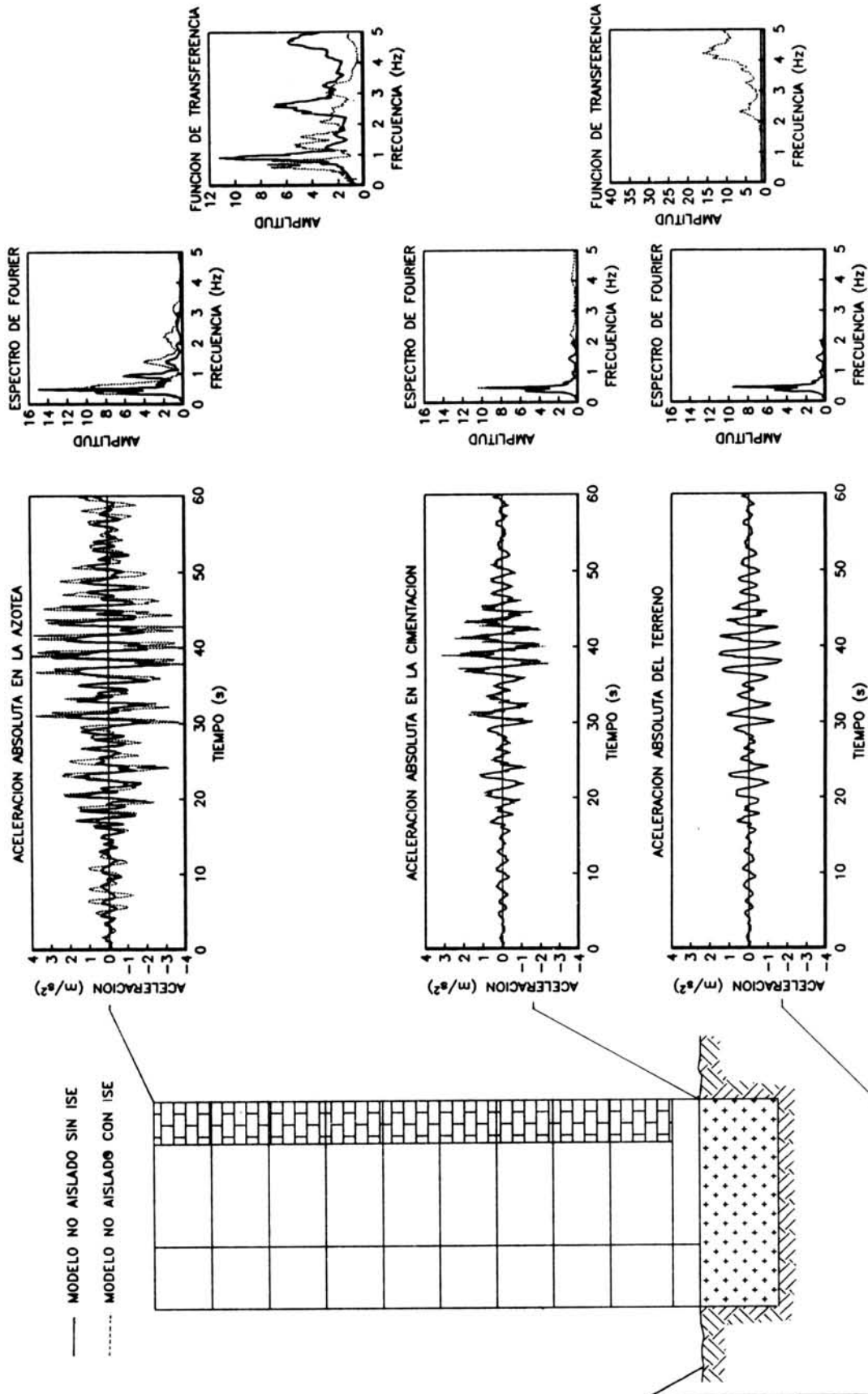


Fig 21 Respuesta de la estructura con el sismo SCT

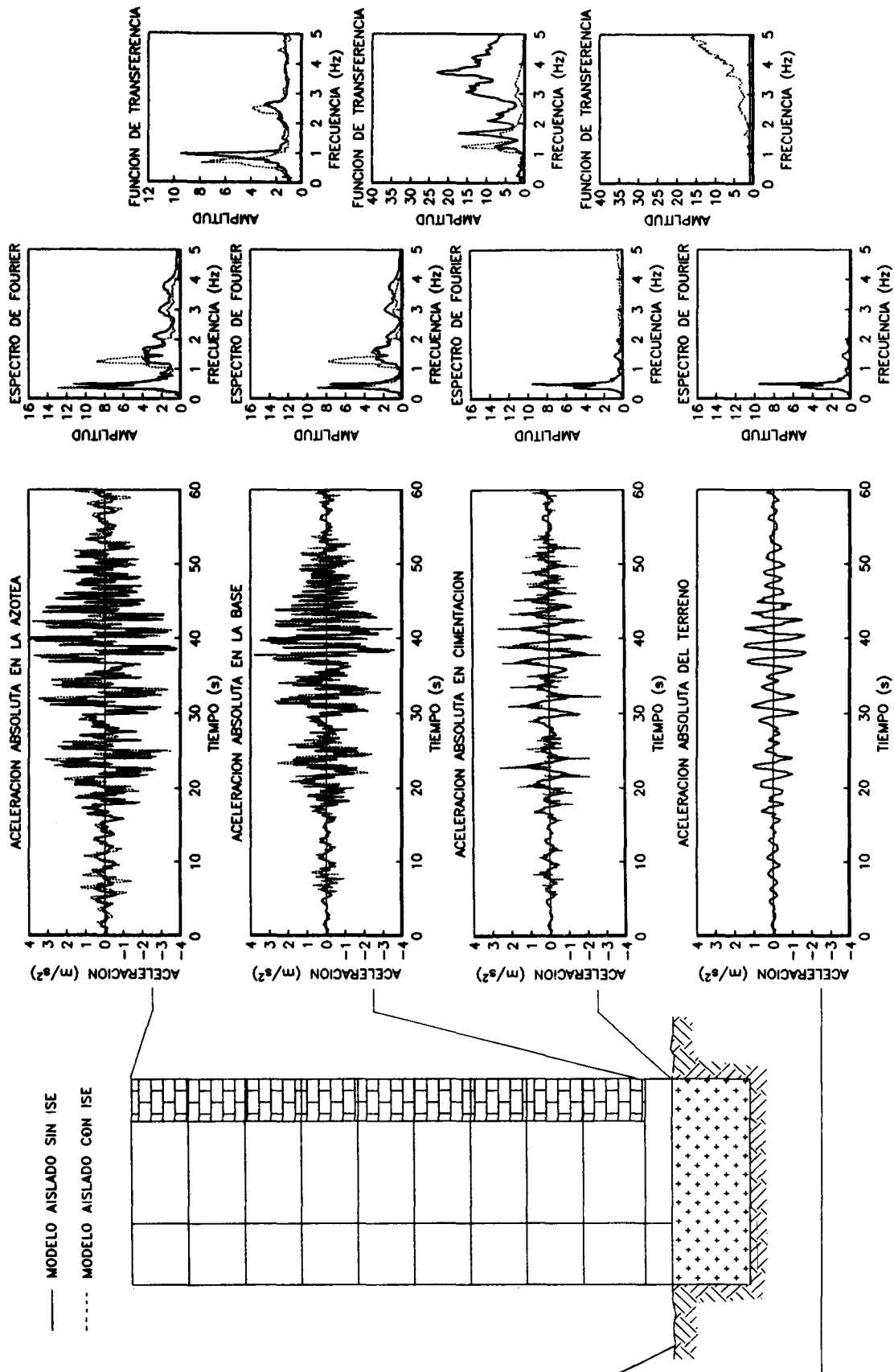


Fig 22 Respuesta de la estructura con el sismo SCT

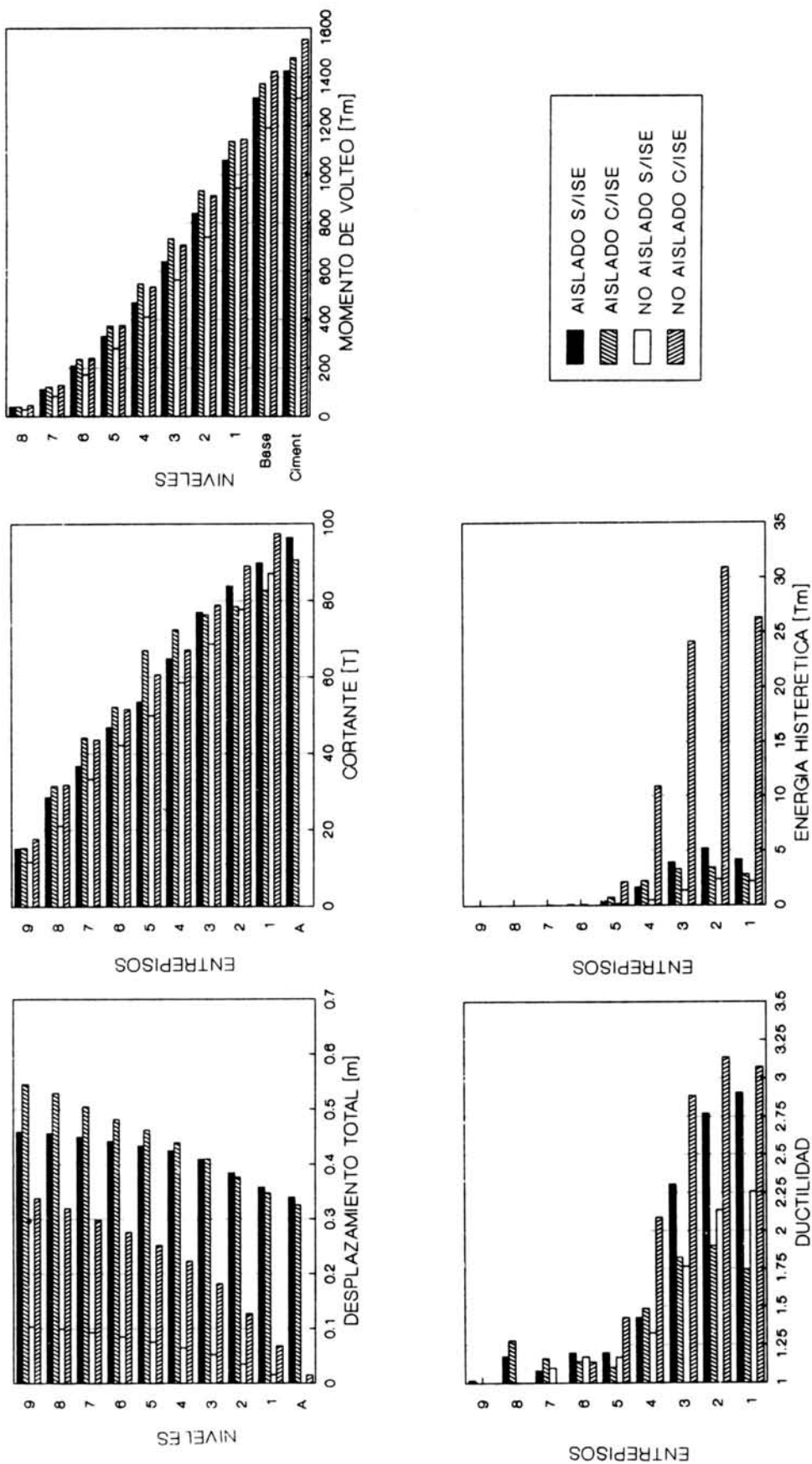
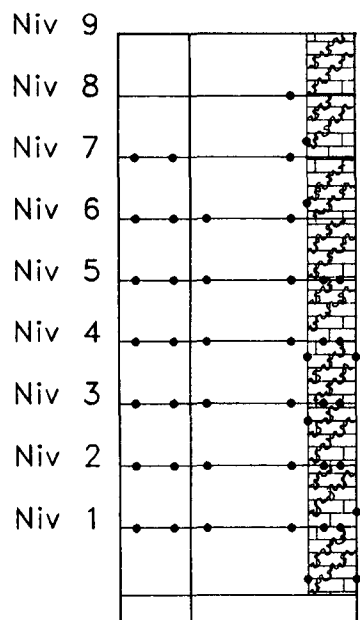
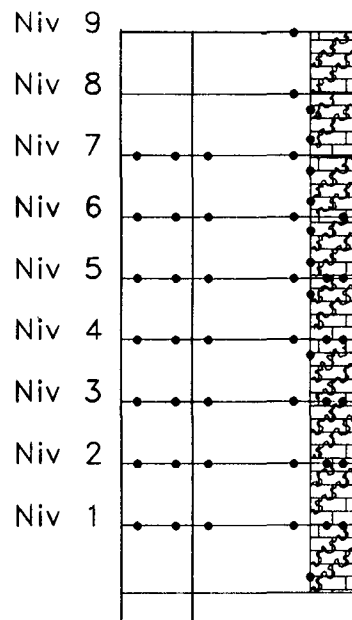


Fig 23 Envolventes de respuesta para el sismo SCT



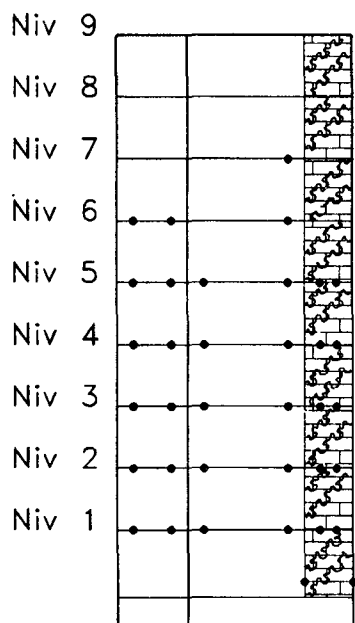
AISLADO SIN ISE

FD = 44 %



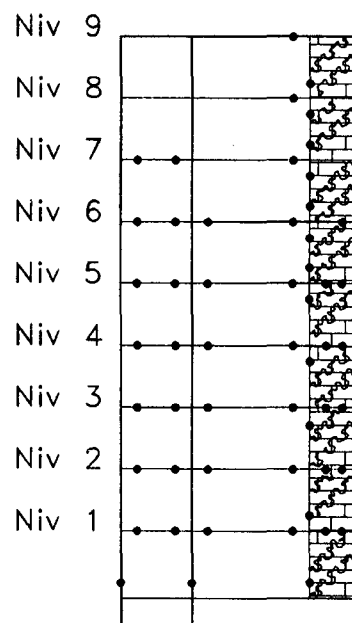
AISLADO CON ISE

FD = 48 %



NO AISLADO SIN ISE

FD = 32 %



NO AISLADO CON ISE

FD = 57 %

Fig 24 Formación de articulaciones plásticas con el sismo SCT

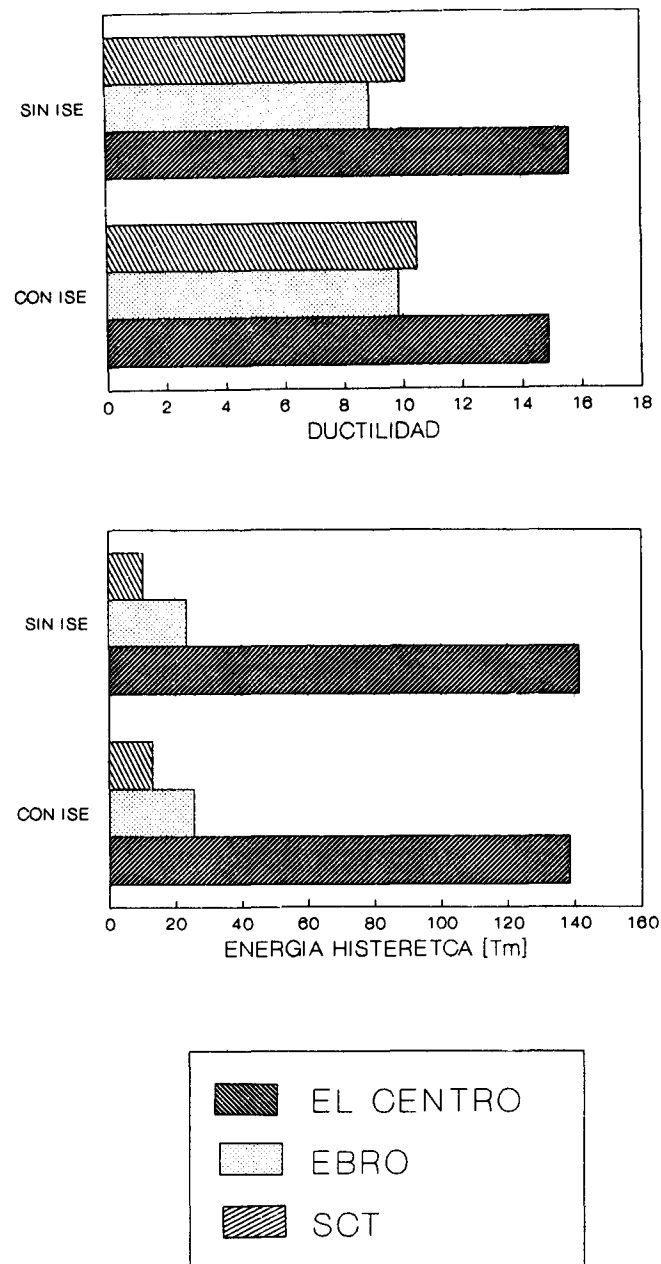


Fig 25 Demandas de ductilidad y energía histerética del sistema de aislamiento para los sismos analizados

CONCLUSIONES

Se observó la existencia de una buena correlación entre la frecuencia obtenida mediante el método de vibración ambiental y el modelo tridimensional realizado con el programa ETABS, por lo que se concluye que tal método puede resultar muy útil en la calibración de los modelos matemáticos de edificios ya construidos.

Se encontró una excelente correlación entre el modelo en tercera dimensión y el modelo plano en el sentido transversal del edificio, ambos modelados con el programa ETABS, por lo que se concluye que es posible analizar una estructura tridimensional a partir de un modelo plano, siempre y cuando se estimen adecuadamente las masas asociadas a cada marco con el fin de obtener las mismas características dinámicas que el modelo tridimensional. Es evidente, sin embargo, la necesidad de contar con programas de análisis inelástico más poderosos con el fin de modelar todas las condiciones que implica un modelo tridimensional (acoplamiento entre dos sentidos perpendiculares, torsión, etc.).

Se apreció una gran variación en la respuesta del sistema de aislamiento elegido al ser sometido a la excitación de acelerogramas con características dinámicas sensiblemente diferentes, por lo que se concluye que la elección de los parámetros de un sistema de aislamiento de base de tipo histerético depende de las características dinámicas tanto del edificio considerado como de la señal del terreno. De lo anterior se puede concluir que el aislamiento encuentra sus condiciones más favorables para este edificio cuando es sometido a sismos de periodos cortos que regularmente se producen en terreno duro (El Centro) y de transición (Ebro), produciéndose lo contrario para excitaciones de periodo largo (SCT), donde su desempeño no es eficiente.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el patrocinio de la Dirección General de Apoyo al Personal Académico (DGAPA) de la UNAM, proyecto IN302793.

REFERENCIAS

1. **Rodríguez Cuevas, N.**, "Análisis experimental de vibraciones en edificios", Instituto de Ingeniería, UNAM, Proyecto No. 6702, 1987.

2. **Meli Piralla, R.**, "Comportamiento sísmico de muros de mampostería", Instituto de Ingeniería, UNAM, Informe No. 352, 1975.
3. **Hernández Basilio, O.**, "Recomendaciones para el diseño y construcción de estructuras de mampostería", Instituto de Ingeniería, UNAM, Informe No. 351, 1975.
4. **Robinson, W. H. and Tucker, A. G.**, "A lead-rubber shear damper", Bull. New Zealand natl. soc. earthquake eng., Vol 10, 151-153, 1977.
5. **Wilson, E. y Habibullah, A.**, "ETABS : Three Dimensional Analysis of Building Systems", Computers and Structures Inc., Berkeley California, 1987.
6. **Kanaan, A. y Powell, G.**, "DRAIN-2D: General purpose computer program for inelastic dynamic response of plane structures", Reporte UBC/EERC/73-6, Universidad de California en Berkeley, USA, 1974.
7. **Lee, D. M. y Medland, I. C.**, "Base isolation systems for earthquake protection of multi-storey shear structures", Earthquake engineering and structural dynamics, Vol 7, 555-568, 1979.
8. **Wiegel Robert, L.**, "Earthquake Engineering", Ed. Prentice Hall, USA, 1970.
9. **Shanabel, P., Lysmer, J., Seedh,** "SHAKE : A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites", Reporte UBC/EERC/72-12, 1972.
10. **Córdova Nava, M.**, "Análisis del comportamiento de un edificio de la ciudad de México con diferentes sistemas de rigidización", Tesis de licenciatura para obtener el título de Ingeniero Civil, UNAM, 1991.
11. **Filiatrault, A. y Cherry, S.**, "Comparative performance of friction damped systems and base isolation systems for earthquake retrofit and aseismic design", Reporte V6T1W5, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Columbia Británica, Vancouver, Canada, 1987.
12. **Pall, S. A., Verganclakis, V. y Marsh, C.**, "Friction dampers for seismic control of Concordia University Library Building", Conference on Earthquake Engineering, Ottawa, Canada, 1987.